50322
33

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

DENDROQUIMICA CON PIXE EN PINO Y OYAMEL, PARA EL REGISTRO RETROSPECTIVO DE 30 AÑOS DE DEPOSITO ATMÓSFERICO, EN EL DESIERTO DE LOS LEONES Y EL CHICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I O L O G O

P R E S E N T A :

GABRIELA ROBLES MORA

DIRECTOR DE TESIS : M. en C. Germán Calva Vásquez

MEXICO, D.F. 2003

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A

Universidad Nacional Autónoma de México
UNAM
Biblioteca Central
Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

D E D I C A T O R I A

DEDICO EL PRESENTE TRABAJO A MI PEQUEÑA Y GRAN FAMILIA POR SU COMPRENSIÓN Y APOYO.

A MI HIJO POR SER UN MOTIVO IMPORTANTE EN MI VIDA.

A TODAS AQUELLAS PERSONAS QUE HAN INFLUIDO EN MI VIDA PARA PROGRESAR.

A AQUELLAS PERSONAS QUE YA NO ESTAN AQUÍ Y SIEMPRE TUVIERON LA ESPERANZA DE QUE SIGUIERA ADELANTE.

A MI HERMANA SILVIA POR INCULCARME EL AMOR HACIA EL CONOCIMIENTO.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTOS

Agradezco de manera especial a Ramón Chavarría Álvarez por apoyarme con el termino de esta tesis.

A mi asesor M.en C. Germán Calva Vázquez por sus puntos de vista oportunos, y a cada uno de los miembros del jurado, Dra. Esther Matiana Garcia Amador, M. en C. Efraín Angeles Cervantes, Biol. Ma. de los Ángeles Galván Villanueva y al Dr. Manuel A. Castillo Rivera por sus observaciones en este trabajo.

Al Dr. Javier Miranda Martín del Campo, Jefe del departamento de Física de la UNAM.

A los técnicos Francisco J. Jaimes y Karim López por su apoyo con el manejo del acelerador de Partículas.

A las instituciones educativas: F.E.S. Zaragoza, al INFUNAM.

A la DEGAPA IN402999, por su apoyo económico.

A mi amiga Yolanda Cordova Galaviz, por su apoyo y los momentos agradables.

Y A NPC.....POR BRINDARME LA OPORTUNIDAD DE VIVIR.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE

I. INTRODUCCIÓN 1

II. JUSTIFICACIÓN 3

III. ANTECEDENTES 4

IV. PROBLEMÁTICA 6

V. HIPÓTESIS 8

VI. OBJETIVOS 8

VII. MARCO TEÓRICO 9

7.1. Dendroquimica 9

7.2. Estructura de la madera 9

7.2.1 Xilema 10

7.2.2. El sistema vertical 11

7.2.3. Anillos de Crecimiento 11

7.3. Absorción de elementos traza 13

7.3.1. Metales Pesados 14

7.3.2. Esenciabilidad biológica de elementos traza 15

7.3.3. Translocación 15

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.3.4 Toxicidad de los metales en plantas 17

7.3.5. Interacciones químicas.....17

7.4 Dendroanálisis 18

7.5 Técnica PIXE.....19

7.5.1 Principios Físicos..... 19

7.5.2 Análisis Cuantitativo de PIXE 20

7.6 Deposito de metales traza 21

7.6.1 Posibles Mecanismos de depositación 22

VIII. AREA DE ESTUDIO 23

8.1 Importancia de los bosques de coníferas 23

8.2 Descripción de las zonas de Estudio 24

8.3 Parque Nacional Desierto de los Leones 24

8.3.1. Geología 24

8.3.2 Edafología 24

8.3.3 Clima 24

8.3.4 Vegetación 25

8.4. Parque Nacional "El Chico" Hgo. 25

8.4.1. Geología 26

8.4.2 Edafología 26

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

8.4.3 Clima 27

8.4.4 Vegetación 27

IX. MATERIAL Y MÉTODO 29

X. RESULTADOS Y DISCUSION..... 32

10.1 Parámetros climáticos y de contaminación para la Zona del Chico y El Desierto de los Leones 32

10.2 Macronutrimentos y Micronutrimentos en anillos de crecimiento de *Pinus leophylla* y *Abies religiosa* del Chico Hgo.....33

10.3 Elementos no esenciales encontrados en el analisis dendroquimico de la zona del Chico Hgo.....41

10.4 Macronutrimentos y micronutrimentos en anillos de Crecimiento en Pino y Oyamel del Desierto de los Leones.....48

10.5 Elementos no esenciales encontrados en el analisis Del Desierto de los Leones.....56

XI. CONCLUSIONES 62

XII. RECOMENDACIONES 63

XIII. LITERAURA CITADA..... 64

XIV. ANEXOS..... 71

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

F

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estudios publicados relacionados con la dendroquímica..... . 4

Tabla 2 Concentraciones criticas de metales traza en plantas (ppm DW).....7

Tabla 3 Rangos mínimos, medios y máximos de elementos cuantificados.....33

Tabla 4 Extracción de componentes principales de *Pinus* de la zona del Chico..37

Tabla 5 Extracción de componentes principales para Oyamel del Chico.....38

Tabla 6 Extracción de componentes principales para a) pino y b) Oyamel del Chico.....44

Tabla 7 Formas viables de los elementos esenciales para las plantas.....46

Tabla 8 Volumen de producción minera en el edo. De Hidalgo.....47

Tabla 9 Extraccion de componentes principales de macronutrientes en Pino de la zona del del Desierto De los Leones.....50

Tabla 10 Extracción de componentes principales de oyamel del desierto de Los leones.....51

Tabla 11 Extracción de componentes principales a) Oyamel y b) pino de la Zona del Desierto de los Leones.....55

Tabla 12 Elementos principales y su relación con los traza.....57

Tabla 13 Extracción de componentes principales de Oyamel del Desierto de los leoenes.....61

Tabla 14 Fuentes de aportación para algunos elementos traza.....61

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura tridimensional del leño.....10

Figura 2. Traqueidas 11

Figura 3. Formación de leño temprano y leño tardío 12

Figura 4. Plasmodesmos.....16

Figura 5. Ionización de capas internas del atomo..... 19

Figura 6. Deposito atmosférico 21

Figura 7. Demanda de agua potable en el Edo. De México.....23

Figura 8. Ubicación de las Zonas de Estudio en relación a la Cuenca de México y el D.F. 28

Figura 9. Equipo de Windendro 29

Figura 10. Medición de las anchura de los anillos de crecimiento 30

Figura 11. Series de tiempo y concentración de elementos Esenciales en anillos de crecimiento de a) Pino Y b) Oyamel de la Zona del Desierto de los Leones 36

Figura 12 Dendrograma elemental de Pino de la Zona del Chico Hgo. 37

Figura 13. Dendrograma elemental de oyamel de la Zona del Chico Hgo.....38

Figura 14. Series de tiempo y concentracion elemntal en anillos de crecimiento Es especies (*Pinus leiophylla* y *Abies religiosa* de la zona Del Chico Hgo.....39

Figura 15 Series de tiempo de elementos no esenciales en a) Pino y b) oyamel de la zona del Chico..... 41

Figura 16 Dendrograma de Pino Chico..... 42

Figura 17 Dendrograma de Oyamel Chico.....43

Figura 18 Series de tiempo de elementos no esenciales en el a) Pino Y b) Oyamel de la zona del Chico (Cont.).....45

Figura 19 Series de tiempo de la concentración elemental de pinus leiophylla Y Abies religiosa.....49

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 20 Dendrograma de los macronutrientes de pino del Desierto de Los Leones....50

Figura 21 Dendrograma de los macronutrientes de pino del Desierto de Los Leones....51

Figura 22 Series de tiempo y concentracion elemental de Micronutrientes en Pino y Oyamel de la Zona Del desierto de los leones....53

Figura 23 Dendrograma de pino y Oyamel de la zona del Desierto de los Leones....54

Figura 24 Series de tiempo de elementos no esenciales de a, a´) Pino y b) Oyamel del Desierto de los Leones....56

Figura 25 Cd como antagónico de K....57

Figura 26 Mo como antagónico de K....58

Figura 27 Rb como antagónico de Mn....58

Figura 28. Cu como antagónico de Zn....59

Figura 29 Series de tiempo de elementos no esenciales en oyamel del Desierto de los Leones....60

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RESUMEN

La dendroquimica es una herramienta para el biomonitoreo de metales traza en anillos de crecimiento, con está herramienta, nos permite realizar un registro retrospectivo de la contaminación atmosférica en la Cuenca de México. Para este estudio se trabajo con las zonas del Desierto de los Leones al cual le llega la influencia de los contaminantes provenientes de la ciudad de México y la de "El Chico" , Hgo. Considerada como un área aislada de la cuenca.

El presente estudio se encamina hacia el analisis retrospectivo del depósito atmosférico en anillos de crecimiento de *Pinus* y *Abies religiosa* en los parques ante mencionados, usando una técnica de análisis llamada PIXE (Particle induced ray-X emission). Usada por ser una técnica eficiente, de analisis multielemental y de precisión, además de que las muestras no requieren de un tratamiento previo para su analisis.

Se tomaron 5 muestras de núcleos por especie y por zona, de arboles visiblemente sanos, con un taladros Pressler de 0.5 cm de diámetro, posteriormente se reguardaron en popotes y en una caja para su transporte al laboratorio. Posteriormente se secaron a 50 °C por 24 hrs. Y se colocaron en bastidores, se rasuraron y se les pegó papel milimétrico para su pronta ubicación de los años, se midió el ancho de los anillos con el programa Windendro. Y se llevaron al instituto de Física, al departamento de Pelletron. Una vez ahí se les hizo incidir un haz de protones, para la detección y cuantificación de elementos traza. Una vez salidos los datos se aplicó el programa Gupix necesario para la interpretación de las concentraciones en ppm o mg/kg.

Los resultados que se obtuvieron a partir de los paquetes estadísticos statistica y spss fueron que las correlaciones entre el ancho y los parámetros climatológicos y contaminantes fueron altos para oyamel, la zona del Chico presenta registros de elementos traza mínimos en ambas especies, sin embargo en el Desierto de los leones presenta concentraciones altas pero puntuales en pino y baja en oyamel . De acuerdo al analisis de factores el ancho se ve muy influenciado por la deficiencia de macronutrimentos y algunos micronutrimentos. Y en especifico para oyamel de la zona del desierto de los leones el dióxido de azufre influye de manera negativa en el crecimiento del anillo. Por otro lado oyamel se considera como el mejor bioindicador y finalmente la técnica PIXE se recomienda por tener cualidades de eficiencia rapidez y precisión.

Palabras clave: Dendroquimica, PIXE, Deposito atmosférico, elementos traza, *Pinus leiophylla*, *Abies religiosa*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I. INTRODUCCION

El uso de los anillos de crecimiento comenzó con la datación de estos para observar la influencia del clima sobre los mismos. A esta investigación se le denominó dendrocronología, y a partir de ella derivaron varias líneas, y entre ellas se encuentra la dendroquímica[1].

Markert (1993), indicó que Shorieder y Balassa 1961, fueron los pioneros al analizar los anillos con una técnica colorimetrica, analizando el patrón de distribución radial de los elementos Cd y Pb. Sin embargo, la evolución de la dendroquimica dependía grandemente de la técnica usada para realizar el análisis. A partir de 1970 con la introducción de instrumentos rápidos y eficientes, con una detección fina, que facilito la tarea en esta área de la investigación. Posteriormente Holtzman (1970), usó la técnica de espectroscopia de absorción atómica. Robitalle (1981), Hayemer y Breckel 1986 (citados en Markert, 1993) analizaron muestras de madera con técnicas: neutrón activado, métodos volumétricos, PIXE (Emisión de rayos X por partículas inducidas), espectroscopia de rayos X y espectroscopia de masas en madera, en donde se fueron obteniendo resultados con mayor precisión.

En un principio el uso de la dendroquímica fue para determinar la presencia y concentración de macronutrimentos y micronutrimentos en los árboles, pero el primer estudio en dendroquímica para el área ambiental fue conducido por Szopa et. al. (1973), el cual presentó muchos problemas para documentar sus resultados de Pb por un periodo de 5 años (1964-1969), no siendo el único, ya que un numeroso grupo de investigadores fueron incapaces de mostrar resultados fehacientes, debido a la técnica o especie arbórea.

Desde el punto de vista fisiológico Legge, Kaufmann y Winchester (1984) sugirieron que las coníferas tienen un gran potencia para la reconstrucción histórica de la contaminación ya que es una de las maderas más primitivas. Sin embargo estudios experimentales han indicado que especies como el encino (*Quercus)* (Ekland, 1995, Jonnson et al., 1997) y el Sugar (Rolfe, 1974; Frelich et al., 1989; Watmough y Hutchinson 1996; Watmough et al., 1998), pueden ser también ser usados para estudios dendroquímicos.

Considerando las propiedades de la madera para la bioindicación, en este trabajo se usaron coníferas y se usó la técnica PIXE (Particle induced x-ray emission) para el análisis elemental, este método se eligió debido a su eficiencia y la gran precisión, además de ser una técnica no destructiva, lo que permitió realizar otras mediciones (ancho del anillo), a los núcleos de *Pinus leiophylla* Schl. et Cham. y *Abies religiosa* Schl. Esta técnica la trabajamos en el Departamento de Física Experimental, ubicado en el Instituto de Física de la UNAM.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El principal objetivo de este trabajo es realizar el análisis retrospectivo del depósito atmosférico en anillos de crecimiento de *Pinus leiophylla*, y *Abies religiosa* en los Parques Nacionales Desierto de los Leones y El Chico. El primero esta situado dentro de la Cuenca y el otro fuera de ella, en el Estado de Hidalgo, sirviendo como referencia.

---

1. Uso de los anillos de crecimiento, para documentar la tendencia en los constituyentes químicos de los mismos(sea orgánicos ó concentraciones de metales traza).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

JUSTIFICACIÓN

El método llamado dendroánalisis esta basado en la concentración de los elementos en los anillos de crecimiento, que están estrechamente relacionados con la abundancia ambiental de los elementos en el tiempo en el que creció y se formó el anillo, (Hagemeyer, 1996).

El uso de los anillos de crecimiento como bio-indicador de los cambios ambientales y de polución fueron considerados para las evaluaciones climáticas y de contaminación (Hirano y Morimoto ,1999), debido a que la comunidad forestal ingresa a su interior un gran número de nutrientes y agentes contaminantes que son translocados a los anillos de crecimiento, es necesario conocer dicho proceso fisiológico.

Así como conocer criterios (rango geográfico, amplitud ecológica, especie sensible a la polución) para tomar en cuenta a cierta especie arbórea para el biominotoreo (Cutre y Húyete,1993).

Otro aspecto importante en la realización de los estudios dendroanáliticos, sin lugar a dudas, será la técnica analítica en la que se basa para realizar la cuantificación de los elementos traza en los anillos de crecimiento, como son las espectroscopicas de rayos X fluorescente, neutrón activado, de emisión de rayos x por inducción protón (PIXE), sin menos cabo de los métodos húmedos: colorimetría, absorción atómica, HPLC, nefelometría, potenciometría de ión selectivo, métodos volumétricos, los cuales serian complementarios para estudios biogeoquímicos.

De entre todos los métodos citados, el más recomendado por su precisión es el de PIXE, que es una técnica seca y que minimiza el error experimental (elaboración de reactivos, curvas patrón, perdida de los elementos contaminantes por efecto de digestiones, etc.) que lo refieren un grupo de investigadores (Pernestal et. al., 1993; Rajander, H. et al. 1999; Kröger-Romo et. al., 1996; Valkovic et al., 1995;), y coinciden en señalar las siguientes razones:

- Porque se requiere de una mínima cantidad de muestra
- No es un método destructivo
- No requiere de tratamiento previo ni reactivos químicos.
- Minimiza el error experimental por la reducción de pasos en el proceso Analítico.
- Es muy sensible en la detección de elementos traza
- Permite realizar el análisis multielemental de manera simultanea Y
- Requiere poca superficie de incidencia para el haz.

Tales estudios dendroanalíticos no se han realizado en México con esta técnica, por lo que se presenta una oportunidad para obtener información más puntual a cerca de la historia del depósito atmosférico en la Cuenca de México.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

II. ANTECEDENTES

Los estudios multielementales en los anillos de crecimiento comenzaron a publicarse a partir de 1961 con Shreoder y Balassa 1961 (citado en Markert 1993). Y a partir de esos momentos se inició una gran cantidad de estudios relacionados a la química de la madera y la influencia del medio hacia los anillos de crecimiento, a continuación, los estudios realizados en anillos de crecimiento con diferentes especies arbóreas se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 1. Estudios publicados relacionados con la dendroquímica.

AUTOR	ESPECIE	AÑO	OBJETIVOS
Hall, G.S.y Naumann M.	*Pinus rigida*	1984	◆ Comprobar el uso del dendroanalisis para la reconstrucción del pH de la Precipitación ◆ Observar la interrelación elemental. ◆ Cuales elementos son translocados entre los tejidos del árbol ◆ Señalar las diferencias en las concentraciones elementales en el tejido maderable
Baes, III y McLaughlin, S.B.	*Pinus echinata*	1984	◆ Analizar la madera de Pinus echiinata de varios lugares de Tennessee
Marina NAGJ	*Pinus*	1987	◆ Verificar la eficiencia de la preparación de las muestras para el análisis . Comparación de dos técnicas : XRF y PIXE
Frelich, L.E.	*Pinus strobus*	1989	◆ Determinar el potencial de la dendroquimica en la evaluación de las consecuencias por la contaminación ambiental.
Hagemeyer, J. Y Shinkyungown, M.	*Pinus silvestry*	1995	◆ Determinar las fracciones de elementos traza en pino y fueron comparadas con el encino. ◆ Se determino la distribución radial del Cd y Pb en fracciones químicas en el tronco del pino Scots.
Kröger-Romo et .al.	*Ulmus, Pinus sp, Falsa acacia*	1996	◆ Realizar el análisis de elementos contaminantes en los anillos de crecimiento en Olmo, Pino y falsa Acacia. ◆ Analizar las dificultades para el análisis
Hagemer J. y Weinand T.	*Picea abies*	1996	◆ Examinar la acumulación elemental y la mobilidad relativa de Pb en los anillos de crecimiento del Xilema y 5 años de corteza
Takagi, M., Sacia, S. y Gyokusen, S.		1997	◆ Comparación de pH y concentración de los iones (Na^+,K^+ ,Mg^{++} ,Ca^{++} ,y NO_3) en los troncos de una zona urbana y una zona rural
Watmough ,S.A. y Hutchinson, T.C.	*Acer saccharum*	1998	◆ Determinar los cambios históricos en la quimica del Xilema formado desde 1916 en el Sugar maple en cuatro lugares situados a lo largo de un área urbana y un gradiente rural que se extiende desde el noreste de Toronto hasta el Sur de Ontairo
Watmough, S.A.	*Acer saccharum y Abies religiosa*	1999	◆ Revisión de estudios dendroquímicos a través de los últimos 20 años y Analizas el uso de la dendroquimica para el monitoreo de los cambios históricos en las concentraciones de elementos traza en suelo y atmósfera
Pennickx V. et.al.	*Fagus sylvatica*	1999	◆ Investigar la relación entre el crecimiento y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

			parámetros climáticos. ◆ Prueba de patrones radiales de concentración de nutrientes proveyendo evidencia sobre la alteración en la química del suelo a través del último siglo.
Hirano T. Y Morimoto K.	*Pinus thanbergir Purl*	1999	◆ Análisis en los cambios presentados en los anillos de crecimiento del Pino negro japonés en un área contaminada y otra no contaminada
Durand, R y Shelley H.		1999	◆ Prueban la factibilidad del método ICP-AES para obtener la concentración elemental de 29 elementos en 62 arboles y en 3 tipos de suelo.
Yanoski M., Hansen P. y Shening R.	*Quercus*	2001	◆ Determinación del año en que inicio la contaminación por hidrocarburos clorinatado de un acuifero superficial, ◆ Análisis de los anillos de crecimiento.

Podemos observar que un 40 % de los estudios se realizó con el uso de especies de *Pinus*, considerando que una de las razones mas importantes para la utilización de esta, es por ser una de las especies mas abundantes en la región, por su rápido crecimiento, por que los anillos están diferenciados y por su capacidad de acumulación.

El resto corresponde a la familia de las pinaceas, como es el caso, de las piceas y las hojosas, cuya utilización va con un 20% cada una.

Con los estudios citados podemos percatarnos que la línea de investigación en México no se ha desarrollado y que requiere precisar las especies bioindicadoras.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III. PROBLEMÁTICA

El decline forestal fue observado por primera vez en México, en el año de 1982 en la zona del Desierto de los Leones, algo similar ocurre en las zonas del Ajusco y los Dínamos al parecer extendiéndose por la superficie forestal dañada (Vázquez, 1987). El término decline forestal se refiere a un gran número de síntomas incluyendo, la perdida de follaje, reducción en el crecimiento, baja retención de hojas y una eventual muerte del árbol.

Tal fenómeno ocurre a nivel mundial y esta posiblemente asociado con formas de la contaminación (Freedman,1990; Howells, 1991).

Los contaminantes gaseosos como el ozono, dióxido sulfuroso, metales pesados y lluvia ácida, en su conjunto se denominan deposito atmosférico de contaminantes antropogénicos (Cielsa ,1987).

El depósito atmosférico juega un papel importante en la modificación de características químicas y físicas del suelo, según concluyó Levy *et al.*(1996), al verse estas alteradas afectan las condiciones de crecimiento y vigor de las áreas forestales (Freliche et al.,1989).

Algunos componentes que conforman el deposito atmosférico, son los metales pesados traza (Cu,Zn, Mn, Ni, V, Cr, Co,Pb, Mg, Al, Ag, Cd) que ven *aumentada* su concentración en los ecosistemas, debido a las emisiones antropogénicas y se considera de gran preocupación.

Los síntomas de daño por efecto de la toxicidad de los metales pesados traza son: detención del crecimiento, clorosis intervenal, necrosis marginal y en las puntas de las hojas, abscisión prematura de las hojas, se agudizan si se trata de follaje nuevo o en crecimiento (Mitchel y Freyz, 1977 en Smith, 1981, en Calva, 1999). Otro ejemplo de la influencia del deposito en *Pinus hartwegi* (Lindl.), *Pinus leiophylla* y *Pinus moctezumae* presentan sintomas de clorosis, necrosis y senescencia en las hojas (Watmough, 1999).

Kabata-Pendias y Pendias (1984) menciona algunos procesos relacionados con los efectos tóxicos de los elementos traza:

- Cambios en permeabilidad de la membrana celular
- Reacciones de grupos sulfihidros (ˉSH) con cationes
- Competencia por sitios entre los metabolitos esenciales
- Afinidad por reaccionar con grupos fosfatos y grupos activos de ADP ó ATP
- Remplazamiento de iones esenciales (mayormente cationes)
- Ocupación de los sitios de grupos esenciales como fosfato y nitrato por arsenato, fluorato, borato, bromato, selenato, telurato y tungstato.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En conjunto se origina una alteración importante en las funciones fisiológicas y se presentan anormalidades bioquímicas.

Estos elementos pueden ó no ser tóxicos, y esto va a depender entre otras cosas de la concentración ver (Tabla 2) y el intervalo de tolerancia que tienen los árboles o plantas, además de que tales elementos se encuentran con cierta concentración según el origen parental (Ígneo o sedimentario).

Tabla 2. Concentraciones críticas de metales traza en tejido de planta de cultivo (ppm Dw).

METAL	ESPECIES SENSIBLES
As	-
Cd	5-10
Co	10-20
Cr	1-2
Cu	15-20
Hg	0.5-1
Ni	20-30
Zn	150-200

Tomado de Kabata (1992).

De ahí la necesidad de realizar el análisis exhaustivo con un biomonitor forestal y una técnica sensible.

La dendroquimica en *Abies relilgiosa* y *Pinus leiphyla*, para el biomonitoreo del Parque Nacional Desierto de los Leones y "El Chico " Hgo., nos permitirá utilizar los anillos de crecimiento de los árboles para determinar los patrones de contaminación por partículas metálicas traza, acumulados dentro de ellos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV. HIPOTÉSIS

Si la contaminación por Particulas suspendidas totales (PST) atmosférico ha ido en aumento en los ultimos 30 años, entonces los anillos de crecimiento de *Pinus sp.* y *Abies religiosa* reflejaran este incremento de concentración, con su correspondiente alteración en la anchura de sus anillos de crecimiento.

V. OBJETIVO GENERAL

- Realizar el dendroanalisis retrospectivo (30 años) en Pino y Oyamel del deposito atmosférico (elementos traza) en el Parque Nacional Desierto de los Leones y "El Chico" Hgo mediante la técnica PIXE.

OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar la influencia de la temperatura y la precipitación en los anillos de crecimiento de *Pinus leiophylla* Schl. et Cham. y *Abies religiosa* Schl.
- Determinar la posible relación entre PST (K, Ca, Fe, Cl, Zn, Mn, Na, V, Cr, Co, Cu, Ga, As, Rb, Ti, Sr Y, Zr, Mo, Ba y Pb) atmosférico con la anchura de los anillos de crecimiento.
- Realizar la correlación entre las concentraciones obtenidas de elementos traza con la técnica PIXE y las anchuras de los anillos de crecimiento
- Determinar, la especie (*Abies religiosa o Pinus leoiophylla)* que pueda ser utilizada para estudios de dendroquimica.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VI. MARCO TEÓRICO

6.1. DENDROQUIMICA

Según, Hayemer (1995) la Dendroquímica se refiere al monitoreo dendroquímico de las concentraciones de los elementos traza en los anillos de crecimiento anual, con el fin de realizar un estudio retrospectivo de los cambios de niveles de contaminación.

Estos cambios en la concentración elemental en el medio pueden ser reflejados en los cambios de concentración de algunos elementos en los anillos.

Esto se asume debido a que los árboles incorporan y almacenan elementos al tiempo que crece el Xilema.

6.2. ESTRUCTURA DE LA MADERA

En el corte transversal de un tronco la se encuentran cinco estructuras principales: Corteza, el liber, el cambium, la albura y el duramen.

La corteza es la capa protectora, esta es formada en forma continua, por el cambium especializado.

La corteza interna o liber: es una capa esponjosa por la cual la savia desciende fácilmente. La savia transporta azúcares, desde las hojas para nutrir a las nuevas células leñosas.

El cambium, si esta capa pudiera ser separada de la corteza y de la madera sería prácticamente invisible. Sin embargo toda la fuerza del árbol para vivir y crecer reside en esta pelicula. El cambium no cesa de fabricar, por su cara interna, células leñosas (Xilema) y por su cara externa (floema).

La albura: es la parte funcional de la madera; por ella circula la savia ascendente, ella almacena nutrientes o los transporta de una parte a otra del árbol. La mayor parte de la savia circula por el anillo leñoso del año en curso.

El duramen: Es la parte muerta del árbol. Constituye el receptáculo de las sustancias de desecho del árbol, lo cual hace que se convierta en tóxico para la mayoría de los organismos que podrían nutrirse de él. La única función del duramen es la de proporcionar rigidez y robustez al árbol (Johnson ,1970)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.2.1. XILEMA

En Gimnospermas, el xilema secundario esta constituido por varios elementos: traqueidas, traqueas, diferentes fibras, células parenquimáticas, células de los radios medulares y a veces, células secretoras (Figura 1) .

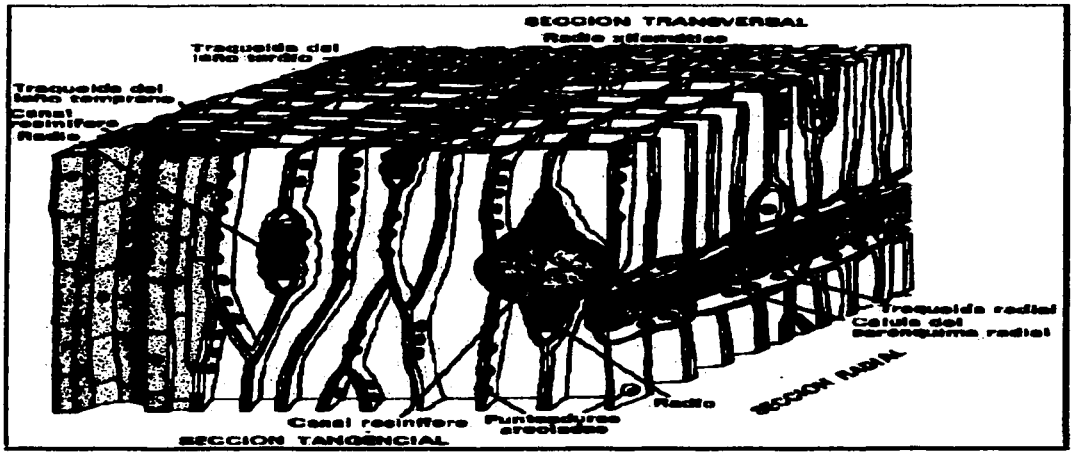


Figura 1 Estructura tridimensional de un leño de gimnosperma (Fuller,1972)

La estructura más característica del Xilema secundario es la existencia de dos sistemas de elementos que difieren en la orientación de sus ejes longitudinales : uno es vertical y el otro horizontal. El sistema horizontal comprende los radios medulares mientras que el vertical esta formado por vasos, fibras y parénquima leñosos. Las células vivas de los radios y las del sistema axial se encuentran generalmente en conexión hasta el punto de que resulta posible hablar de un sistema continuo de células vivas de la medula del floema y del cortex.

La estructura del sistema secundario de las gimnospermas es más sencilla y más homogénea que la de las angiospermas. La diferencia principal es la ausencia de las traqueas en el leño de las primeras y su presencia en las segundas, así como la poca cantidad relativa de parénquima, sobre todo parénquima axial en gimnospermas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.2.2. EL SISTEMA VERTICAL

En la mayor parte de las gimnospermas, los vasos del sistema vertical son, como se dijo, las traqueidas. No obstante las traqueidas del leño tardío desarrollan paredes relativamente gruesas y en sus puntas tienen otros pequeños y largos conductos. En atención a esto, a estas traqueidas se denominaron fibrotraqueidas. El xilema al final del anillo aparece más oscuro debido a la estructura especial de estas traqueidas (Figura 2).

Las traqueidas y las fibrotraqueidas miden de 0.1 a 11mm de longitud. Debido a esta gran longitud las traqueidas entran en contacto con uno o más radios.

Figura 2 Traqueidas de Pino

6.2.3. ANILLOS DE CRECIMIENTO

La madera de las confieras es relativamente homogénea y está compuesta, primariamente de tráqueas que se reflejan en filas radialmente uniformes. Los anillos de crecimiento de las confieras se distinguen por las diferencias que se presenta en el diámetro celular y el engrosamiento de la pared celular de las traqueidas producido durante las primeras y las últimas etapas de la estación de crecimiento. El ancho de los anillos de crecimiento depende en gran medida de las condiciones del clima durante el año de formación (Spurr, 1982).

De acuerdo con esto las zonas templadas, y también en las regiones tropicales en las que tienen lugar estaciones secas y húmedas pronunciadas, que no son favorables al crecimiento tienen como consecuencia que el cambium, experimente periodos alternos de actividad y latencia, o inactividad relativa.

Las cantidades anuales se pueden percibir a simple vista, ya que esta compuesto de dos bandas relativamente claras de células de xilema, una porción interior llamado

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

leño de primavera, en que los vasos y las traqueidas son relativamente grandes, y una porción externa, que es el leño de verano en que dichas células son muchos más pequeñas en diámetro y de pared más gruesa, que las de leño de primavera (Figura 3)

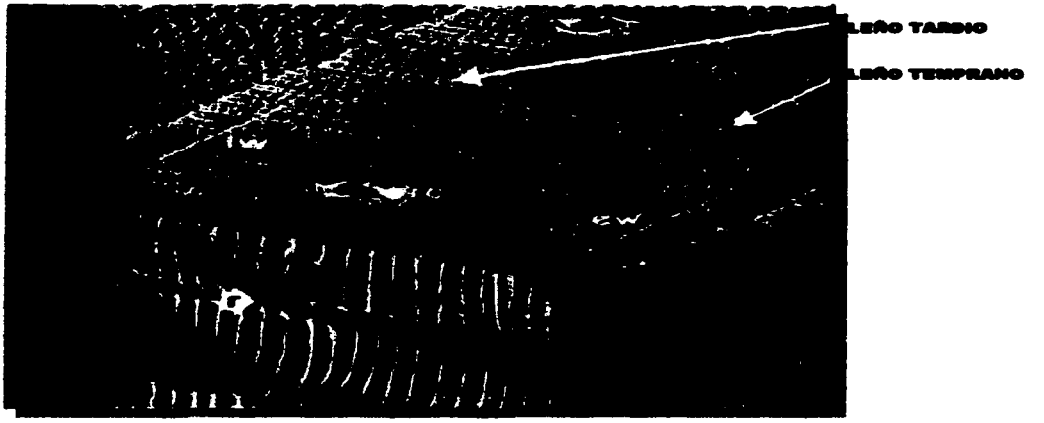


Figura 3 Formación del leño temprano (eW) y tardío (l W) la r son rayos vasculares (Core 1976)

El ancho de los anillos de crecimiento en el tronco de un árbol no es uniforme. Las diferencias en el ancho del anillo en un mismo tallo debe atribuirse a las condiciones climáticas variables que prevalecieron al formarse los diversos anillos. Los factores ambientales que más influyen sobre el ancho del anillo es la humedad, la temperatura y, nutrimentos. Las capas de crecimiento formadas en estaciones de precipitación pluvial abundante suelen ser más anchas que las producidas en años de sequía (Fuller, 1972). Por otro lado los cambios irregulares en las condiciones ambientales, pueden provocar la formación de anillos falsos. Tales anillos pueden ser el resultado de condiciones extremadamente desfavorables puede, excepcionalmente, faltar por completo un anillo correspondiente a un año .

Para evitar malas interpretaciones y para reconocer y descartar los anillos falsos o ausentes se ha desarrollado una técnica que se fundamenta en el crecimiento de varias plantas que sufren la influencia de una fluctuación ambiental común, se producen alteraciones en sus anillos similarmente y sincronizados. O bien por datación cruzada que es una técnica que sirve como herramienta para la identificación y fechación de una porción de un anillo de crecimiento, el cual puede tener errores ya sea en la datación o bien, en la medición.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por otro lado una vez que sucede la integración de los contaminantes dentro de la nube esta se produce durante la formación de las gotas de agua hasta antes de su caída a la superficie, mecanismo denominado rainout o " lavado dentro de la nube" y el proceso en el que los gases y partículas son removidos, a medida que las gotas de lluvia caen, se conoce como "washout o lavado bajo la nube" el cual se realiza cuando las gotas llevan el proceso de impacto e intercepción hacia la superficie terrestre, donde los gases son absorbidos por las gotas de lluvia (García et al.,1993).

Los metales están presentes en el aire en forma de partículas en aerosol con una talla de 5 nm-20 µm pero son más de 0.1 y 10µm de diámetro y tiene un periodo de estancia de 10-30 días (Alloway, 1990). Las concentraciones altas de metales pesados son de origen antropogénico.

Los metales pesados han sido identificados como uno de los elementos más peligrosos del ambiente; todos los estudios relacionados con la presencia y efectos de estos sobre la vida, son de suma importancia en la preservación del equilibrio ecológico.

En virtud de la información recabada ahora, el uso de anillos, tiene muchas más aplicaciones como en el área de arqueología, dendroecología, climatología, contaminación, y no solo por su aportación informática sino también por su exactitud.

6.3 ABSORCIÓN DE ELEMENTOS TRAZA

En general, las plantas toman los elementos traza cuando estos se encuentran en disolución en el suelo de manera ionica, quelada o bien en forma de complejos.

Moore, D., 1972; Loneragan, J.,1975; Mengel,K. Y Kirby, E., 1978; y otros.
Resumen lo siguiente:

- Usualmente opera en muy bajas concentraciones
- Depende grandemente de las concentraciones en la solución especialmente, en rangos pequeños.
- La proporción depende principalmente de la presencia de H^+ y otros iones.
- La intensidad varia con las especies y la etapa de desarrollo
- Los procesos son sensibles a algunas propiedades del ambiente del suelo, como la temperatura, aeración y potencial redox.
- Puede ser selectivo para un ión en particular
- La acumulación de algunos iones puede tomar su lugar, en un contraste de diferencia de gradientes de concentración.
- Las micorrizas juegan un rol importante en el ciclo entre la media externa y las raíces.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La absorción de los elementos traza por las raíces puede ser pasivo (no metabólico) y activo (metabólico).

La toma pasiva se refiere a la difusión de iones de la solución externa dentro de la raíz de la endodermis. La toma activa requiere de energía metabólica y toma lugar en contra de un gradiente químico.

Los mecanismos que juegan un papel en la toma de elementos traza a través de las raíces involucra algunos procesos:

- Intercambio de cationes por raíces.
- Transporte interno celular por agentes quelados u otros acarreadores.
- Efectos rizosfera.

6.3.1. METALES PESADOS

Una vez que los iones han sido absorbidos por las raíces y transportados a los vasos del xilema, estos viajan a través de toda la planta.

La proporción y la extensión del movimiento depende del metal concerniente, el órgano y la edad de la planta.

Chaney y Giordano (1997) clasificaron al Mn, Zn. Cd, B, Mo, y Se, como los elementos fácilmente translocados, Ni, Co y Cu como los medianamente y Cr, Pb y Hg translocados a extenso. En el Xilema suave se ha observado que el Mn puede estar presente como ión libre.

El cobre puede existir en complejos orgánicos con aminoácidos o en otro complejo aniónico.

En las hojas, los iones metálicos pueden ser involucrados como dentro de las proteínas ó translocados a través de la planta por el floema por medio de la fotosíntesis.

La secuencia de cómo se translocan los elementos de manera decreciente es la siguiente: Cd>B>Zn<Cu>Pb.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.3.2. ESENCIABILIDAD BIOLÓGICA DE LOS ELEMENTOS TRAZA

Existen ciertos criterios para establecer si un elemento traza es esencial o no para el crecimiento normal de las plantas y/o animales.

- Los organismos no pueden crecer o completar su ciclo de vida, mientras no tengan un adecuado suministro de los elementos.
- Los elementos esenciales para su sobrevivencia, no pueden ser reemplazado por otros elementos.
- Los elementos tienen influencia directa sobre los organismos, ya que intervienen en su metabolismo.

6.3. 3. TRANSLOCACIÓN

El movimiento de solutos orgánicos e inorgánicos de una parte a otra de la planta esta referido como translocación.

Las células muertas del xilema están separadas del floema por una capa de células vivas que se denomina cambium vascular. La función primaria de una célula meristemática del cambium es la producción continua de nuevas células del xilema y del floema por sucesivas divisiones en ángulo recto respecto al eje radial.

El xilema mas recientemente producido, situado, junto al cambium el cual tiene una función importante, la de controlar o regular el movimiento hacia arriba y hacia los lados de los solutos en el xilema. El xilema es el que transporta la principal corriente de sales nutritivas hacia arriba. También se ha observado la rápida transferencia lateral de solutos que pueden tener lugar entre el xilema y el floema. Tal transporte lateral de solutos ocurre así presumiblemente por mecanismos normales de transferencia (difusión, transporte activo, etc.) Este **movimiento lateral** debe implicar la intervención de las células vivas del cambium, esto es que entre las traqueidas y los vasos de la mayoría de los tallos se intercalan laminas o bloques de tejido parenquimatoso, estos parecen funcionar principalmente en el movimiento transversal u horizontal del soluto así como la remoción o la adición de solutos a la corriente de transporte del Xilema.

Sin embargo las traqueidas también presentan un mecanismo de transferencia que es la de difusión: este consiste en la movilización de solutos a través de membranas a una tasa mas o menos proporcional a su solubilidad en lípidos o solventes grasos e inversamente proporcional a su tamaño molecular, la mayoría de las **paredes celulares** parecen ser permeables a los solutos mientras que la permeabilidad de las membranas es mucho menor. Las paredes celulares y los espacios intercelulares que son permeables al agua son también esencialmente permeables a los solutos debido a que están perforados por numerosos poros u orificios diminutos llamados plasmodesmos (Figura 4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Fig. 4 Plasmodesmos (tomado de Core,1979)

La membrana citoplasmática externa (plasmalema) de células adyacentes esta en intimo contacto con cada plasmodesmo. Puesto que puede haber 5x 10^6 plasmodesmos por cm^2, significa que las células contiguas poseen gran cantidad de canales a través de los cuales tienen lugar transporte activo o pasivo de sustancias sin que tengan que atravesar la pared celular (Bidwell,1979).

Las altas proporciones de transpiración, altas concentraciones de sales minerales en el suelo y aeración favorable en el suelo favorece la rápida translocación de iones a través del Xilema, ya que puede ser bidireccional, esto es que, las sustancias pueden ser translocadas en diferentes direcciones simultáneamente.

La translocación a través del floema puede ocurrir substancialmente en las células las cuales son metabólicamente activas.

Sin embargo se han propuesto hipótesis que involucran difusión simple a lo largo de interfaces protoplasmáticas del floema a través de los tubos cribosos contenidos en el floema y el movimiento de la masa se desarrolla por un gradiente potencial de agua a través de la planta (Fritts, 1976).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.3.4. TOXICIDAD DE LOS METALES EN PLANTAS

En concentraciones excesivas los metales esenciales y no esenciales resulta en fitotoxicidad, los posibles efectos de esto son :

- Cambios en la permeabilidad de la membrana celular Ag,Au,Br, Cd, Cu, F, Hg, I, Pb, CO_2.
- Reacciones de los grupos sulfhídrica (SH) con cationes Ag, Hg, Pb.
- Competición por el sitio con metabolitos esenciales: As,Sb, Se, Te, W, Ti.
- Afinidad para reaccionar con grupos fosfatos y grupos activos de ADP o ATP. Al, Be, y Zr, lantánidos y posiblemente todos los metales pesados.
- Reemplazamiento de iones esenciales (mayormente cationes) Cs, Li, Kb, Se, Sr.
- Ocupación de los sitios por grupos esenciales como fosfatos y nitratos (Kabata-Pendias, 1984).

6.3.5. INTERACCIONES QUIMICAS

En organismos se presenta un balance químico, esto es una condición básica en propiedades de crecimiento desarrollo, las interacciones de los elementos químicos también son importantes en la deficiencia y toxicidad de elementos que se involucran en la fisiología de la planta. Las interacciones de los elementos pueden provocar antagonismos y sinergismos, esto induce a un desbalance en las reacciones causando un estrés en las plantas.

El antagonismo ocurren, cuando los efectos fisiológicos combinados de 2 o más elementos, hacen disminuir la suma de sus efectos independientes, un sinergismos ocurre cuando existe el efecto combinado de 2 o mas elementos es grande. Esta interacciones se refieren a la habilidad de un elemento para inhibir o estimular la absorción de otros elementos en las plantas. Todas estas reacciones son completamente variables y pueden ocurrir en el interior de las células, en la superficie de la membranas, también se puede presentar entre las raíces de las plantas, los procesos de interacción son controlados por uno o mas factores y los mecanismos que son poco conocidos.

Las interacciones entre elementos esenciales y elementos traza se observan en la Tabla 12 de la pag. 56. Muestran claramente que Ca, P Y Mg, son los principales elementos antagónicos en la absorción y metabolismo de algunos elementos traza. Algunos de los efectos sinérgicos, también pueden ser observados por pares de elementos antagónicos, dependiendo de la reacción especifica de la planta, genotipo o especies.

Los efectos antagónicos ocurre por 2 caminos 1) Los macronutrimentos pueden inhibir la absorción de elementos traza en transformación, 2) los elementos traza pueden inhibir la absorción de un macronutrimentos. Estas reaccione han sido

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

observadas para fosfatos, pero también han sido reportados para otros macronutrimentos cuya toma y actividad metabólica pueden ser inhibidos por diverso elementos traza. Más importante para la aplicación practica son los efectos antagónicos para Ca y P para elementos pesados como son Be, Cadmio, Pb y Ní. Que a menudo constituyen una riesgo para la salud de los organismos vegetales. Ya que Ca y P son conocidos como elementos importante en el rol de la integridad de las membranas celulares y por esos cualquier desbalance puede afectar en los procesos de integración de cada uno en la solución externa de nutrientes o para la superficie de las membranas de la raíz.

El gran numero de reacciones antagónicas han sido observados para Fe, Mn, Cu y Zn, los cuales son , obviamente, los elementos claves en la fisiología de la planta. Estos elementos traza sirve de enlace para los procesos de absorción de las plantas y de la actividad enzimática, los otros elementos traza a menudos involucrados en procesos antagónicos con los siguientes elementos traza: Cr, Mo y Se (Kabata, 1984).

6.4. DENDROANALISIS

El uso de anillos de crecimiento de los árboles como monitor temporal de los cambios ambientales es posible, porque los árboles de regiones templadas, producen anillos de crecimiento anual, caracterizado por un periodo de crecimiento rápido en primavera, el cual produce una coloración clara en la madera temprana, siguiéndole un periodo lento de crecimiento en verano y observándose una coloración obscura de la formación de la madera tardía.

De estudios dendrocronológicos ha emergido la dendroquímica como una invaluable herramienta para la reconstrucción del cambio medioambiental.

Un aspecto importante en dendroquímica, es que la química tomada del incremento anual de la madera, refleja la química del medio ambiente durante el año de formación (Watmough, 1999)

De esta forma cada anillo es analizado, para la obtención de la concentración de elementos traza.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.5 TECNICA PIXE

Hace dos décadas un gran número de técnicas sofisticadas han sido usadas en estudios dendroquímicos, no sólo en detección sino, se incrementó el número de elementos traza e isótopos analizados. Las técnicas más comunes usadas incluyen: Análisis de Neutrón Activado (NAA) (Guyette et al. 1989); Cromatografía (Ferreti et al., 1995); Rayos X Fluorescente (XRF) (Injuk et al., 1987) y ICP_Ms (watmough y Hutchinson, 1996); espectroscopia de masas (SIMS) (Martin et al., 1994).

Sin embargo se empleó la técnica PIXE (Emisión de rayos X por inducción de partículas) la cuál consiste de una técnica de rápida de análisis multielemental de alta sensibilidad, que se basa en la detección de rayos X, característicos de los elementos presentes en muestras de diversos orígenes inducidos por haces de iones.

Esto es, que el espécimen analizado es irradiado por partículas cargadas y la emisión de rayos X por la desexitación de los átomos en la muestra son analizados con ayuda de un apropiado espectrómetro (Johansson,1995).

6.5.1 PRINCIPIOS FISICOS

El fenómeno físico en el cual se basa PIXE es la ionización de las capas internas de un átomo blanco por la incidencia de un ión positivo, y la subsecuente desexitación del átomo por el decaimiento de un electrón desde una capa superior para cubrir la vacante, con la emisión del fotón de rayos X para eliminar el exceso de energía en el átomo figura 5.

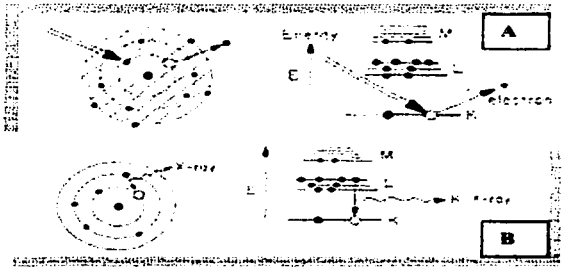


Figura 5 A)Ionización de capas internas de un átomo. B) Desexitación de un átomo, con la emisión de l fotón de rayos X. Tomado de http://ion.eas.asu.edu/analysisycomp4techniques//tricompare.htm

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La energía del fotón emitido es característico del elemento en cuestión por lo cual es posible, mediante la medición de dicha energía, la identificación del elemento. Tal energía son los rayos X que llegan al detector (usualmente de Si-Li) que producen una señal electrónica y cuando es procesada secuencialmente por un preamplificador y un analizador multicanal (MCA). La corriente de los iones bombardeados son medidos por medio de cajas de faraday detrás de la muestra.

El espectro colectado por la MCA puede ser almacenado por una línea o para determinar el contenido elemental en la muestra.

PIXE se a usado por que es una técnica de capacidad multielemental, alta sensibilidad, muy rápida y de naturaleza no destructiva (Moser et al., 1998)

6.5.2 ANALISIS CUANTITATIVO DE PIXE

Para efectuar el análisis cuantitativo en PIXE se presentan 3 tipos de blancos principalmente: el delgado, el intermedio y el grueso. La diferencia entre cada uno estriba en la pérdida de energía de los iones en el blanco y la atenuación de los fotones de rayos X puedan sufrir dentro del mismo blanco. Para el blanco delgado es posible ignorar ambos fenómenos, en el blanco grueso el proyectil queda detenido por completo y la atenuación de los rayos X es importante; finalmente en el blanco intermedio la perdida de energía es considerable, aunque no total y existe una atenuación de los rayos X que no es despreciable.

El análisis cuantitativo con PIXE en el blanco grueso, es decir, cuando el proyectil deposita toda su energía en la muestra y queda finalmente detenido en ella, por lo cual es necesario el conocimiento completo del frenamiento del proyectil en la matriz y la atenuación de los rayos X en la muestra.

En el dispositivo para el blanco grueso la corriente tiene que medirse sobre la muestra misma, si esta es conductora, y cuando la muestra es aislante; debe medirse en toda la cámara o utilizar otros métodos, como integradores frente a la cámara o detectores de partículas para medir el número de iones retrodispersados.

Cuando la muestra gruesa es aislante, frecuentemente ocurre que la carga eléctrica del haz se acumula en el blanco, provocando un alto potencial, que posteriormente da origen la radiación de fondo.

La solución a tal problema se encuentra mediante el uso de un pequeño cañón de electrodos para irradiar simultáneamente la muestra y así neutralizar la carga positiva del haz de iones (Miranda, 1996).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.6. DEPOSITO DE METALES TRAZA

Una vez que son liberados los contaminantes a la atmósfera, por las fuentes de emisión; ocurre su transporte, transformación y dispersión por medio de los vientos y de las precipitaciones. Un factor que influye en la propagación y la dirección de transporte es el tiempo de residencia del contaminante en la atmósfera. Si ambos factores son favorables, los contaminantes son llevados, a miles de kilómetros de su fuente de emisión, y también a mayor altura, la fuerza del viento es más intensa por lo que el transporte se realiza a mayor distancia. (figura 6)

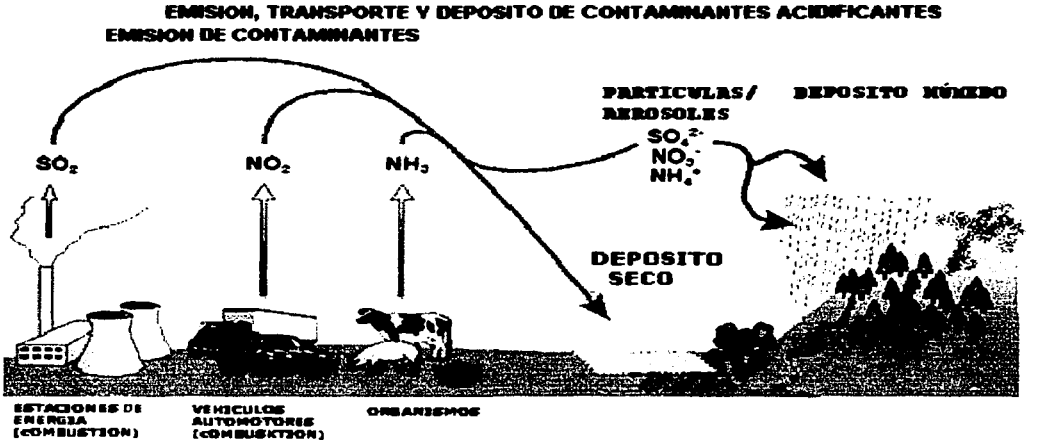


Figura 6 Deposito atmosférico tomado de www.ceh.ac,uk/aboutceh/sections/edin-pollution.htm

La manera de como se trasladan de un lugar a otro depende de un número de factores que determinan la forma y cantidades de metales provenientes de la atmósfera y estas se puedan ubicar en un lugar dado, ya sea en el suelo, la planta o sistema acuático, estos son:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- El tamaño de la partícula
- Solubilidad
- Distancia que tiene que viajar el metal y su camino para llegar a un sistema
- Lluvia ácida

Los metales llamados aerosoles tienen un tamaño de 0.01- 1.0 μm (dados por la contaminación por vehículos, humo de aceite, fumarolas de la metalurgia) y de 1-100 μm (proporcionada por la gasolina y la industria metalúrgica). Tales partículas menores de 1 μm de diámetro se pueden transferir a partir del lavado o lluvia a un sitio de deposición.

El pb y el Cd están asociados con un tamaño menor de 1 μm de diámetro, el cual puede estar en la atmósfera cerca de siete días, tiempo suficiente para que los contaminantes viajen miles de kilómetros

6.6.1 POSIBLES MECANISMOS DE DEPOSITACIÓN

- Depósito seco de partículas, polvos, aerosoles y gases, así como
- Depósito húmedo a través de granizo, lluvias, rocío, escarcha y nieve.

El depósito seco incluye la sedimentación de partículas mayores de 10 micrómetros por efecto de la gravedad; el transporte turbulento de pequeñas partículas y gases a regiones cercanas a la superficie; el choque con elementos superficiales y la absorción o la formación de reacciones químicas con la superficie. Algunos de los factores que afectan el depósito seco son la rugosidad y la humedad.

El depósito húmedo es el resultado final de los procesos a través de los cuales la precipitación "lava" los contaminantes dentro o bajo la nube.

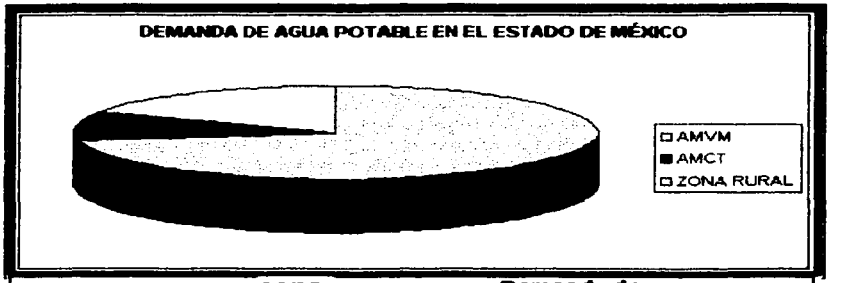
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

VIII. AREA DE ESTUDIO

8.1. IMPORTANCIA DE LOS BOSQUES DE CONIFERAS

La importancia de los bosques templados es que:

- Poseen una gran biodiversidad, así como un alto porcentaje de especies endémicas.
- Juega un papel importante en la captación de humedad en el mantenimiento de cuerpos acuáticos y mantos freáticos, usados para proveer parte de la demanda de agua figura 7.
- Constituyen el pilar más fuerte de la industria forestal del país y aportan leña la cual constituye el 70% de la base energética en el medio rural.
- Además proporciona áreas de recreación, esparcimiento y belleza escénica,
- y protegen otros recursos como el suelo, la flora y la fauna.
- Fuente de suministro para la elaboración de fármacos (Angeles, 1998).



zona	Demanda de agua	%
Área Metropolitana de Valle de México (AMVM)	31,172	72.43
Área Metropolitana de la Ciudad de Toluca (AMCT)	4,270	9.92
Zonas Rurales del Estado	7,593	17.64
Total	43,035	100.00

Fig. 7 Demanda de agua potable en el estado de México *Fuente: CAEM, mayo, 2002*

TOMADO de htpp. www .demand5.gif

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.2. DESCRIPCIÓN DE LAS ZONAS DE ESTUDIO

Las zonas de estudio que se eligieron fueron el Parque Nacional Desierto de los Leones y el Parque Nacional "El Chico" Hidalgo.

El primero se eligió debido a que es una de las zonas que recibe mayor influencia de los contaminantes provenientes del Distrito Federal, además de que presenta un gran decline forestal.

Por otro lado el Parque Nacional "EL Chico " se considera como un patrón de referencia ya que se encuentra alejado de las fuentes principales de contaminación atmosférica, (ver Figura 8) .

7.3. PARQUE NACIONAL DESIERTO DE LOS LEONES (D. F.)

En El Parque Nacional Desierto de los Leones fue donde se observó por primera vez el fenómeno del decline forestal. Este se localiza al suroeste del Valle de México, en la Delegación Cuajimalpa, D.F., entre las coordenadas 19° 16´18" y 19°20´22" de latitud norte y 99° 17´00" y 99° 20´00" de longitud oeste. Su superficie presenta una forma alargada de norte a sur, tiene una superficie total de 1.866 ha.
(Enciclopedia Microsoft® Encarta® 2002), con una altitud media de 3 250 msnm y elevaciones extremas de 2 700 a 3 797 m.s.n.m. (Cetenal, 1977)

7.3.1 GEOLOGÍA

Las andesitas y basaltos son los constituyentes litológicos de los cuerpos montañosos más frecuentes en el área. En general las rocas que dominan en la zona del Desierto de los Leones pertenecen al grupo de las neovolcánicas mexicanas, rocas etrusivas terciarias y post- terciarias y andesitas principalmente, que surgieron por focos eruptivos como el Cerro de San Miguel (Sosa, 1951).

7.3.2. EDAFOLOGÍA

El tipo de suelo presente en la zona norte y este corresponde al tipo andosol húmico, ócrico y Feozem háplico de textura media, y en la parte central, extendiendose de norte a sur, feozem lúvico y andosol mólico de textura media (Cetenal, 1977). En general los suelos tienen buen drenaje superficial, son húmedos durante todo el año, ricos en materia orgánica y profundos (Sosa, 1951)

7.3.3. CLIMA

El clima de la zona es del tipo C(W_2) (W) (b´) ig según la clasificación de Köppen modificada por Garcia (1981) que corresponde a un clima templado subhúmedo, con porcentajes de precipitación invernal respecto a la total anual menor de 5 mm, con

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

verano fresco y largo, oscilación isotermal y marcha de temperaturas de tipo Ganges. El mes más cálido es mayo, con una temperatura media mensual de 18°C y con una temperatura mínima mensual de 12.9°C (INEGI, Temperatura media mensual del periodo 1921-1998)

7.3.4. VEGETACIÓN

El Parque esta formado por 4 tipos de comunidades vegetales, a saber: Bosque de *Abies religiosa*, Bosque de *Pinus Hartwegii*, Bosque mesófilo de montaña y Bosque de *Quercus* siendo el primero el de mayor extensión.

De las especies árboreas presentes, el Oyamel *Abies religiosa* es el más abundante; se le encuentra dominando grandes extensiones del Parque, desde el punto más bajo hasta casi los 3 500 m.s.n.m. aproximadamente. Le sigue a continuación el género *Pinus* (pino) que presenta varias especies: *Pinus patula, Pinus montezumae, Pinus leiophylla, Pinus pseudostrobus, pinus teocote, Pinus ayacahuite* y finalmente *Pinus Hartwegii* que constituye la vegetación leñosa localizada a mayor altitud en el Parque. Entre los encinos encontramos *Quercus laurina, Quercus mexicana, Quercus microphylla* y *Quercus rugosa.* Otros elementos arbóreos importantes como *Agnus sp. Garrya sp, Arbutus sp. y Arctostaphylos sp.*

7.4 PARQUE NACIONAL "EL CHICO" HIDALGO

Se encuentra localizado al Norte de la capital del Estado Pachuca, en el Municipio de Mineral del Chico, Estado de Hidalgo. Por tal razón se considero como zona muestra para el estudio

El Parque abarca una extensión total de 2 739-02-63 hectáreas, se expropiaron 329-60-02 hectáreas de propiedad particular compuesta de tres fracciones; la fracción I con 153-42-14 hectáreas; la fracción II con 68-26-22 hectáreas y la fracción III con 107-91-84, así mismo el Gobierno del Estado de Hidalgo trasmitió en favor del Gobierno Federal una superficie de 84-71-00 hectáreas del terreno conocido como "Monte Vedado".

Se localiza geográficamente entre los meridianos de coordenadas 98°41'47" y 98°45'31" de longitud oeste y entre los paralelos de 20°10'05" y 20°13'25" de latitud norte (FVM con base en INEGI).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.4.1 GEOLOGIA

Dentro del área se encuentran numerosas estructuras geológicas de relieves característicos, entre estas son importantes la Peña del Cuervo que tiene una altura de 2,770 m.s.n.m.; otras peñas características son las Peñas de los Enamorados, la Peña del Muerto, la Peña de Cruz Grande; otras peñas importantes son El Potrero, los Gachupines, Peña Cercada, los Ingleses, Del Culantro, Peña Larga, Del Gallo, De Diego Mateo, Peña del Muñeco, las Ventanas, Las Goteras, Las Monjas, El Tepozan (Universidad Autónoma de Hidalgo).

Las depresiones ahí encontradas forman grandes valles, que contrastan con las formaciones rocosas, resaltando la belleza del paisaje, entre los Valles importantes están: Las Cebadas, Los Enamorados, Llano Grande, La Presita y Cantarranas; otros Valles son: Sabanilla, los Conejos, La Orozca, Tlaxcalita, Diego Mateo, Las Milpas, El Capulín, La Virgen Tirada, El Pozo, Valle de Tepozán (Ibid).

Barrancas típicas son: Barranca de los Otates, de la Peña Larga, los Pantanos, Barranca del Puente de Dios, del Capulín, Sabanillas, de las Goteras (Ibid).

Presenta un rango altitudinal que va de los 2,300 a los 3,020 metros sobre el nivel del mar (Vargas, 1984).

En el área incluida por el Parque Nacional El Chico, afloran rocas volcánicas extrusivas y materiales sedimentarios cuyas edades van del Terciario al Reciente. De las rocas volcánicas que afloran en el área, pertenecientes al Grupo Pachuca, solamente se encuentran las Formaciones Vizcaina y Cerezo, a las que suprayace la Formación Zumate, estas consistente: El Grupo Pachuca, por derrames de lava, brecha volcánica, conglomerado volcánico, toba y arenisca tobácea; La Formación Vizcaina, de lavas andesíticas, dacíticas y brechas; La Formación Cerezo, de derrames lávicos de composición riolítica en contacto con clásticos volcánicos y La Formación Zumate, de derrames de lava, estratos de brecha y depósitos laháricos (Univ. Aut. Hgo).

7.4.2 EDAFOLOGIA

Los suelos del área se caracterizan por contener cambisoles húmicos, Feozem háplico, litosoles y regosoles, todos derivados de rocas ígneas extrusivas (SARH: 15).

La hidrología del parque, queda comprendida dentro de la cuenca hidrográfica del Río Panuco, dentro del área se forman varios manantiales, como: Los Otates, El Pescado y el Salto y varios arroyos de agua fría, formados por la Sabanilla, las Animas, las Goteras, la Peña Sentada y Gordolobos, todos son afluentes del Río El Milagro, sirviendo de límite entre los puntos denominados Puente del Milagro y La Aurora y va a desembocar al Río Amajac.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

7.4.3. CLIMA

Presenta un clima Templado subhúmedo, con lluvias en verano y semifrío. Con una temperatura media anual de 21C y una mínima de -5 (SARH: 16).

Se presenta una precipitación media anual de 1,479 milímetros, la mayor cantidad de lluvia cae en junio con 240.7 milímetros y la menor en febrero con 18.6 milímetros, con lluvias en verano (Ibid. 17).

7.4.4. VEGETACIÓN

Tiene una vegetación sobresaliente representada principalmente por bosques de Abies, *Abies religiosa, Salix y Pinus leiophylla*.; el Bosque de Pinus, *Pinus rudis* y *Pinus teocote*; Bosque de Cupressus; Bosque de Quercus, *Quercus laurina, Q. rugosa, Q. affinis, Q. mexicana, Q. crassifolia*; Bosque de Abies-Quercus, *Abies religiosa, Quercus rugosa, Q. affinis, Q. glandulosa* y Matorral de Juniperus monticola.

El bosque de pino esta representado por dos manchones. El bosque es perennifolio, llegando alcanzar 20 metros, este bosque no es muy denso, presenta un estrato arbóreo denominado por *Pinus rudis* o *P. teocote*; el estrato arbustivo y el herbáceo se encuentran muy abiertos, en el primero se registra la presencia de *Fuchsia microphylla, Salvia elegans y Cirsium ehrenbergii*; en el estrato herbáceo se localizan *Senecio toluccanus, Stachys coccinea* y *Hedeoma piperitum, Festuca sp., Lupinus sp.* (Ibid.).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

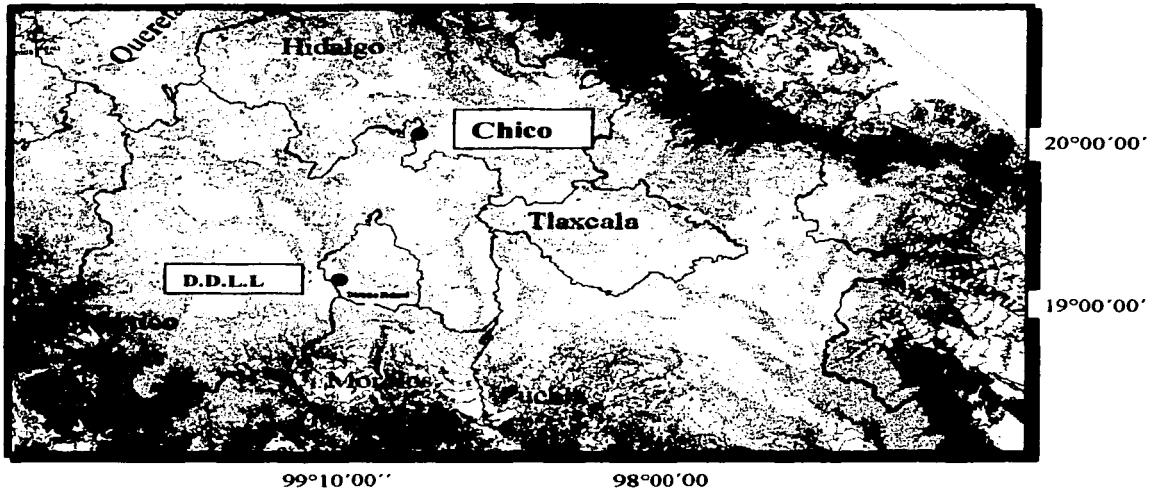


Figura 8. Ubicación de las Zonas de estudio en relación de la Cuenca de México y el D.F.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IX. MATERIAL Y MÉTODOS

FASE DE CAMPO

Se realizó una selección aleatoria de los árboles. Los criterios para la selección de los arboles fueron que presentaran vigor, con capa frondosa, sin parásitos, ni plantas parásitas, sin daño con machete o hacha, así como de árboles cuarteados de su tronco. Se tomaron medidas de su tronco que rebasaron los 1.20 m de circunferencia.

Se extrajeron cinco núcleos de *Pinus leiophyla* Schl. et Cham. y cinco de *Abies religiosa* Schl., de ambas zonas con un taladro Pressler de 0.5 mm, después se etiquetaron y se resguardaron en popotes cuidadosamente colocados en una caja, para su posterior trabajo en el laboratorio.

FASE DE LABORATORIO

Una vez en el laboratorio se secaron los núcleos a 50 grados centígrados por 24 hrs. Se fijaron en bastidores de madera de 35 cm de largo con un canal de 5mm. Posteriormente se rasuraron para contar con una superficie plana, con el fin de que los anillos pudieran ser leídos, fueron sometidos al analisis de PIXE es importante mencionar el uso de guantes durante el manejo de muestras. También se les colocó una tira de papel milimétrico para marcar los anillos y facilitar su ubicación durante la irradiación con el haz.

Los núcleos fueron escaneados por un programa llamado Windendro. Este es un sistema de análisis de imagen semiautomático, diseñado para medir los anillos de los árboles. El sistema trabaja con un escáner que se usan para obtener las imágenes de los anillos del centro del tronco (Figura 9)

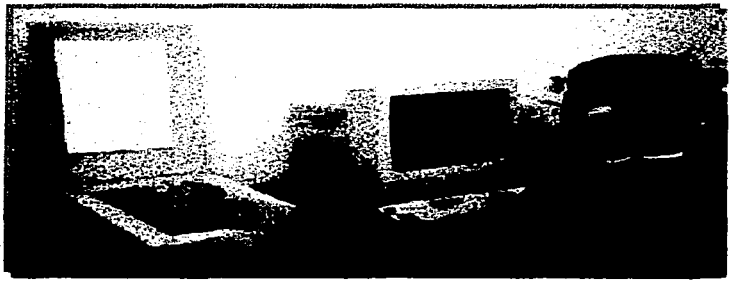


Figura 9. Equipo Windendro

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La técnica automática consiste en la diferencia de intensidades de luz y es útil para anillos claramente definidos, como el de las coníferas. El software calcula e informa sobre la anchura de los anillos (Figura 10).

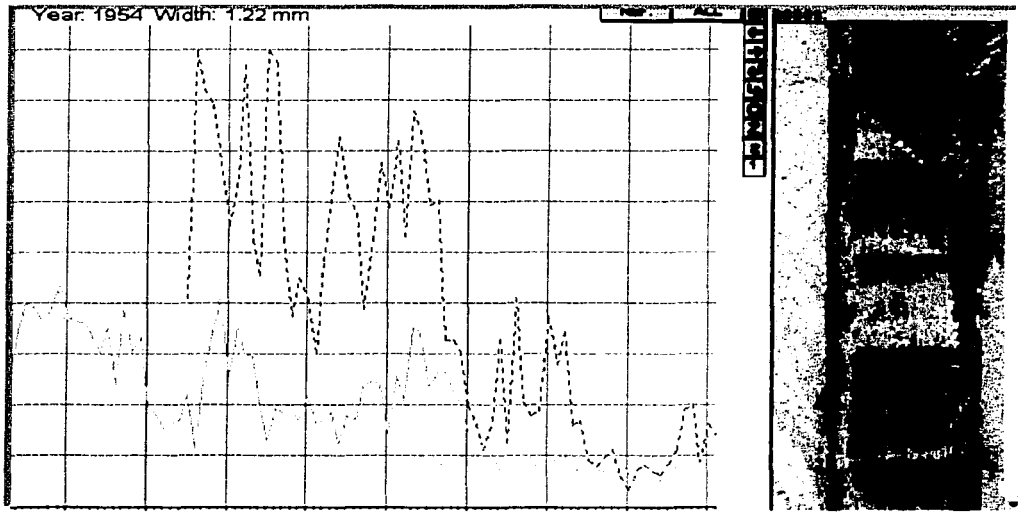


Figura 10. Medición de la anchura de los anillos.

Una vez escaneados los núcleos, fueron llevados al Departamento de Física Experimental del IFUNAM.

A cada anillo de los núcleos se les hizo incidir un rayo de protones, con un acelerador de partículas Marca NEC 9SHD-2 con una energía de 3 MV, ubicado en el Instituto de Física de la UNAM.

Las características de los rayos X fueron medidos por detectores Si(Li) y otro de Ge (Li). Estos detectores están conectados a una analizador multicanal, el cual cuenta con una pantalla de video en donde aparece el espectro multielemental del anillo analizado. También se uso un Mylar film de 38 micrómetros y se utilizó un colimador para dirigir al haz de 0.5 mm . Los espectros se analizaron con un paquete software denominado GUPIX, que consiste en una aproximación teórica del gráfico del espectro, que se llama simulación del espectro experimental. En el caso del

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

análisis de espectros PIXE[2] se procede por fijar parámetros experimentales y teóricos (calibración, características del detector, filtros etc.), hasta ajustar el material de referencia, para posteriormente seguir con la secuencia de los espectros de las muestras irradiadas.

Los materiales standares fue soil 1 (SL-1) de la International Atomic Energy Agency y el estandar Tomato para calibrar el sistema de detección.

Con el fin de realizar las correlaciones anchura con temperatura y precipitación, se obtuvieron datos de temperatura media mensual y precipitación media mensual del periodo de 1970-1998 de la Estación Meteorológica Desierto de los Leones y la Estación de "Mineral El Chico " Hidalgo. Proporcionados por el Sistema Meteorológico Nacional y la Comisión Nacional del Agua. Los datos restantes fueron generados por series de tiempo predictivos, hasta el año de 2001.

Al realizar el análisis estadístico en el Paquete Statistica, versión 6, se utilizó el coeficiente de correlación Pearson que es una medida de asociación lineal entre dos variables. Los valores del rango de coeficiente de correlación de -1 a 1. La señal del coeficiente indica la dirección de la relación, y su valor absoluto indica la fuerza, con valores absolutos más grandes nos indican relaciones más fuertes. La correlación asume que las variables similares en por lo menos dos intervalos y determina hasta que punto los valores de las dos variables son proporcionales con los demás. El valor de correlación (CF), no depende de las unidades de medición usadas.

El análisis de correlación pretende buscar la relación entre las concentraciones elementales y los factores climáticos (Precipitación y Temperatura), contaminación atmosférica (PST y SO_2) y crecimiento arbóreo.

Por otro lado se realizó un analisis de factores con el fin de extraer los componentes principales (elementos) que son importantes según el índice de correlación, acompañado de diagramas de Cluster jerárquico con el paquete SPSS con el fin de ubicar los cúmulos de datos más relacionados entre sí con el fin de graficar y finalmente un diagrama Cluster de los años para observar como se comporta el cumulo de datos de las concentraciones elementales en general. Y el analisis de factores. Con el fin de extraer los componentes principales del cumulo de datos tanto de macronutrimentos como de micronutrimentos.

En la sección de anexos se muestran las correlaciones obtenidas por cada muestra.

---

2. Emision de rayos X por inducción de protones

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

X. Resultados y Discusión

10.1 Parámetros climáticos y de Contaminación para la zona del Chico Hgo. Y del Desierto de los Leones

Se considera que la precipitación, la temperatura o la combinación de ambos son factores importantes para el crecimiento del árbol, de ahí la importancia de tomar tales parámetros así como los de los contaminación ya que ejercen un efecto de estrés que puede provocar la disminución del crecimiento en los anillos.

A partir del analisis estadístico, se obtuvieron las siguientes correlaciones de los parámetros climatológicos en la zona **de chico**.
Ver tabla:

Correlaciones Pino	Oyamel
$r_{ancho\text{-}temp}$ = -0.03	$r_{ancho\text{-}temp}$ =0.12
$r_{ancho\text{-}preci}$ = -0.22	$r_{ancho\text{-}preci}$= 0.11

Claramente se observa una relación pobre entre el ancho y los parámetros climatológicos, sin embargo la orientación de cada uno nos puede mostrar que la influencia del clima es más determinante la precipitación tanto en pino como en oyamel.

Acontinuación se señalan los parámetros contaminantes

Pino	Oyamel
$r_{ancho\text{-}pst}$ =0.15	$r_{ancho\text{-}pst}$= -0.01
$r_{ancho\text{-}SO2}$=0.125	$r_{ancho\text{-}SO2}$=-0.04

La influencia mas significativa es para el *Pinus*.

El desierto de los leones presenta las siguientes correlaciones en parámetros climatológicos y de PST y SO_2.

Pino	Oyamel
$r_{ancho\text{-}temp}$=.17	$r_{ancho\text{-}temp}$ =.28
$r_{ancho\text{-}preci}$=-.28	$r_{ancho\text{-}preci}$=.35

Tales parámetros son mas altos el *Abies religiosa* por lo que se puede inferir que los aspectos climatológicos son mas importantes para está.

Los parámetro de de PST y SO_2 son los siguientes:

Pino	Oyamel
$r_{ancho\text{-}PST}$=-.25	$r_{ancho\text{-}PST}$=.31
$r_{ancho\text{-}so2}$=.04	$r_{ancho\text{-}so2}$=-.59*

*Con un nivel de significancia de .05

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La correlación más alta es para el *Abies religiosa* también en cuestión de contaminantes encontrándose al Dióxido de azufre con una correlación alta pero negativa , esto significa que juega un papel importante en el crecimiento del árbol pero de manera negativa.

Tal parece que de manera general el *Abies religiosa* puede ser considerada una herramienta tanto para el registro climatológico así como de contaminación, con respecto a la correlación negativa del dióxido de azufre puede estar sustentado con algunas observaciones que realizó (Alvarado et al., 1993) de lesiones foliares en esta especie, asi como la muerte en grupo de poblaciones de oyamel en el desierto de los Leones (Cielsa, 1987). También se ha señalado la disminución del crecimiento debido al crecimiento de áreas industriales (McClenahen y Dochinger, 1985), y la influencia de las emisiones de estas industrias a la altitud a la que se encuentran estas poblaciones de *Abies* y *Pinus* están expuestos a altas concentraciones del deposito ácido (Le Blanc et al., 1989).

10.2 Macronutrimentos y Micronutrimentos de la Zona del Chico Hgo.

Se realizaron gráficas de las concentraciones elementales en donde se mencionan las concentraciones por quinquenios el primero abarca de 1970-75, el segundo de 1975-80, tercero de 1980-85, el cuarto de 1985-90, el quinto de 1990-1995 y el último sexto de 1995- 1999.

En base al autor Reinmann (1998), se realizó una comparación entre las concentraciones obtenidas con las teóricas, estas están representadas en mg/kg. Compare intervalos mínimos, medios y máximos Tabla 3.

ELEMENTO	INTERVALO MINIMO	INTERVALO MEDIO	INTERVALO MAXIMO
P	1200	10 130	43 180
S			
Cl			
K	10 600	29 400	76 200
Ca	1 800	16 300	35 300
Ti	26	305	1 562
V	19	61	478
Cr	4	31	250
Mn	1641	11 683	10 137
Fe	3 200	20 300	22 200
Co	2	8	27
Ni	8	40	122
Cu	27	164	701
Zn	290	1 500	5 800
Ga			
As	2.4	10	100
Br	16	50.5	230
Rb	<5	63.5	270
Sr	<360	1 100	9 600
Y			
Zr			

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ba	560	2000	8 500
Pb	89	349	6 959
U	<0.1	1.1	4.2
Al	2 120	11 945	30 620
Cd	<0.2	3.35	63.4
Be	<0.2	<0.2	1.3
Na	3850	11700	42600
Mo	<2	3	38

Tabla 3. Intervalos mínimos medios y máximos de elementos Cuantificados. Tomada de Reimann, las concentraciones son en mg/kg de la corteza.

Para el caso de pino de la Zona del Chico los elementos esenciales son : P, K, Ca, Mg, S, Cl, Ver Figura 11.

La concentración de P presenta picos importantes en 1980 y 1988 para después mantenerse a 2000 mg/kg e ir en aumento.

Para S presenta picos importantes a finales del primer quinquenio que van de 5 000 000 a 15 000 000, luego otro a finales del segundo y tercer quinquenio para disminuir en el cuarto, hasta no ser detectable y en el quinto aumenta.

Cloro también se encuentra constante sin embargo, en el segundo quinquenio se elevo hasta 40 000 mg/Kg.

Potasio también presenta concentraciones "altas" en los primeros cuatro quinquenios para disminuir en el quinto y aumentar drásticamente en el sexto quinquenio yendo de 3000 a 9000 mg/kg. Ubicándose estos rangos en el mínimo según el autor.

Ca se presenta homogéneo a los largo de los treinta años aumentando en el ultimo quinquenio, presentando se un rango de 250 a 500 mg/Kg.

En general se observa que los macronutrimentos van disminuyendo drásticamente del quinto quinquenio al sexto quinquenio, así como el crecimiento del anillo, con excepción de Ca, y la correlación mas alta que se encontró fue con K con una correlación de 0.76 , de todos los demás macronutrimentos.

Tales elementos se encuentran en concentraciones mínimas según (Reinmann, 1998).

Por otro lado el Oyamel muestra las concentraciones de elementos esenciales y son siguientes:

Na presenta concentraciones altas a todo los largo de los primeros 4 quinquenios, el rango va de 1.75×10^{12} hasta 4×10^{12}, posteriormente disminuye en 1994 para volver a aumentar a 3.5×10^{12} en el año 1995.

Mg se mantiene mas o menos homogéneo en el rango de 20 000 000 a 40 000 000 mg/kg, en el cuarto quinquenio disminuye a 18 000 000 para aumentar en el quinto y sexto quinquenio.

K presenta una disminución drástica en el quinto quinquenio con 5000 mg/kg, para después aumentar en el sexto quinquenio.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

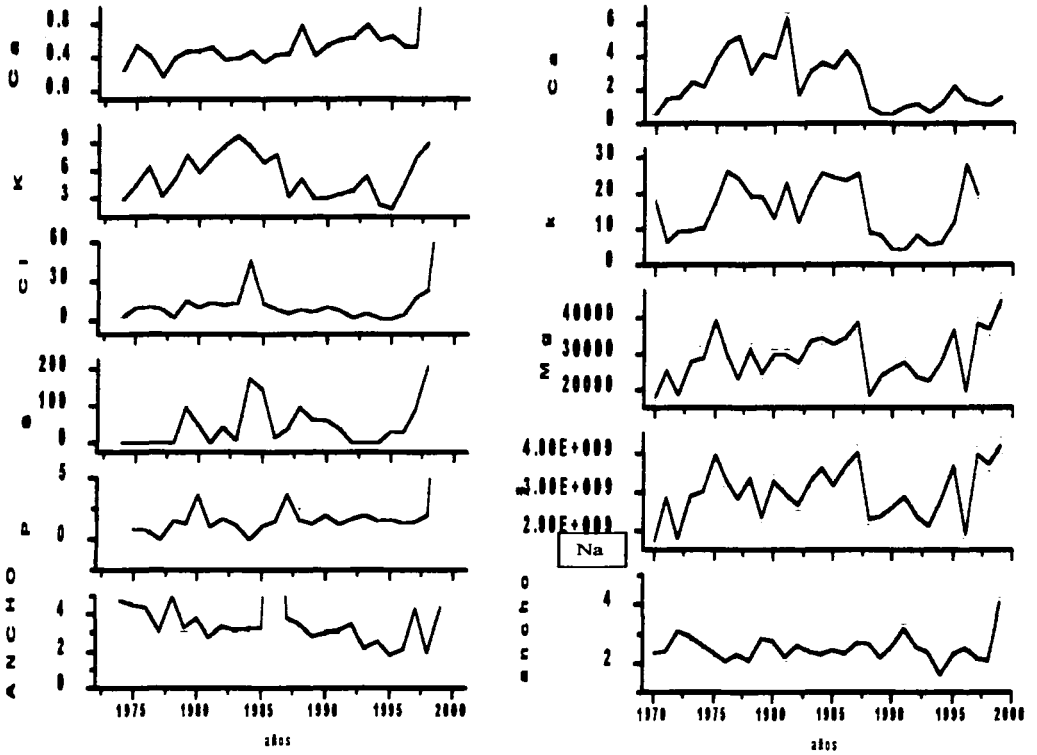
Ca presenta picos en los primeros cuatro quinquenios que va n desde 2000 a 6500 mg/g y disminuye en quinto a 1000 y aumenta ligeramente en el sexto quinquenio.

Al analizar el comportamiento a lo largo del tiempo las concentraciones se encuentran muy semejantes entre los elementos encontrados en el Oyamel, haciéndose notar una disminución drástica en el quinto quinquenio, así mismo para el anillo de crecimiento en la mitad del quinto quinquenio, y la correlación mas alta con la anchura fue para K con 0.38.

Sin embargo los elementos esenciales se ubican en el intervalo mínimo o por debajo del mínimo en ambas especies.

Para una mejor visión de las gráficas de los macronutrientes, los valores se dividieron entre 1000, sin embargo en el texto se manejan los datos originales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



a b

Fig. 11 Series de tiempo y concentración de elementos esenciales en anillos de crecimiento de a) *Pinus leiophylla* y b) *Abies religiosa* de la Zona del Chico Hgo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Con ayuda de un dendrograma podemos ubicar los cúmulos de datos de los macronutrimentos con respecto al ancho. Y observar el grado de asociación así como que elementos están fuertemente correlacionados entre ellos y sus comportamiento (figura 12).

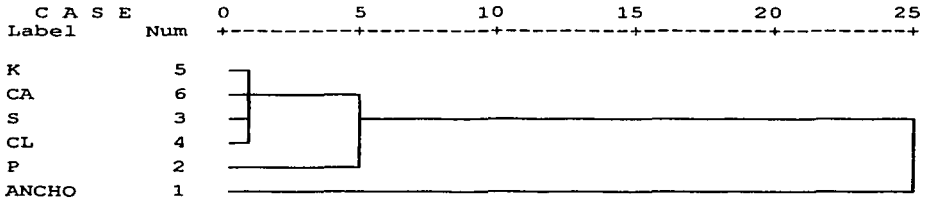


Fig. 12 Dendrograma elemental de pino de la Zona del Chico Hgo.

Podemos observar que el primer grupo de K, Ca, S, Cl. Se encuentran muy correlacionados entre, ellos pero ligeramente con el ancho. Sin embargo el P esta más cerca del ancho. Tal parece que los macros influyen en el ancho.

Al aplicar el analisis de factores la extracción de componentes principales fueron los siguientes: P, S, Cl, K y Ca (Tabla 4).

FACTOR ANALYSIS	Extraction: Principal factors (Centroid) (Marked loadings are > .700000)	
Variable	Factor 1	Factor 2
ANCHO	.00983	-.159507
TEMP	-.31820	-.414763
PREC	.56461	.115535
PST	-.00904	-.290094
SO2	-.32352	.146413
P	.67866	-.327962
S	.94663	-.186263
CL	.95412	-.159473
K	.96990	-.085813
CA	.96476	-.101738

Tabla 4 Extracción de componentes principales de Pino de la Zona del Chico

En la tabla se ubican los elementos extraídos y son aquellos que tengan un factor mayor a 0.70000 a través del analisis de factores, considerándose estos como elementos importantes para la función metabólica del organismo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A continuación se muestra el dendrograma de Oyamel de la misma Zona.

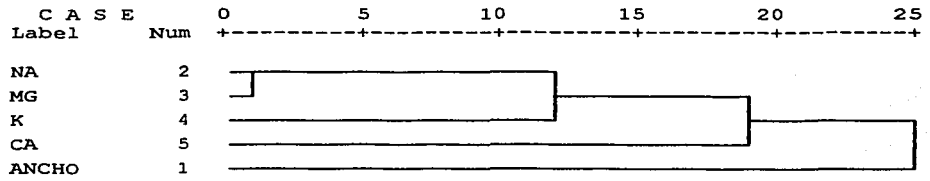


Fig. 13 Dendrograma de Oyamel de la Zona del Chico

Podemos observar que Na y Mg se correlaciona mucho entre ellos y además presentan el mismo comportamiento, por otro lado K y Ca no se correlacionan sin embargo están cerca de correlacionarse con la anchura.

Para el caso de oyamel también se realizó el analisis de factores y se obtuvieron los siguientes componentes principales del cumulo de datos para el Oyamel: Na, Mg, K, y Ca (tabla 5).

FACTOR ANALYSIS	Extraction: Principal components (Marked loadings are > .700000)	
Variable	Factor 1	Factor 2
ANCHO	-.344083	.497063
TEMP	.432012	.037408
PREC	-.270188	.604804
PST	-.177395	-.094280
SO2	.371332	-.426849
NA	-.760526	-.327871
MG	-.804067	-.199375
K	-.073204	.130535

Tabla 5 Extracción de componentes principales para oyamel del Chico

Tal parece que k y Ca juegan un importante rol en el crecimiento arbóreo.

A continuación se señalan los micronutrimentos retenidos en los anillos de crecimiento. Los elementos que se requieren en menor cantidad son : Fe, Mn, Cu, Zn, Mo, Co, V.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

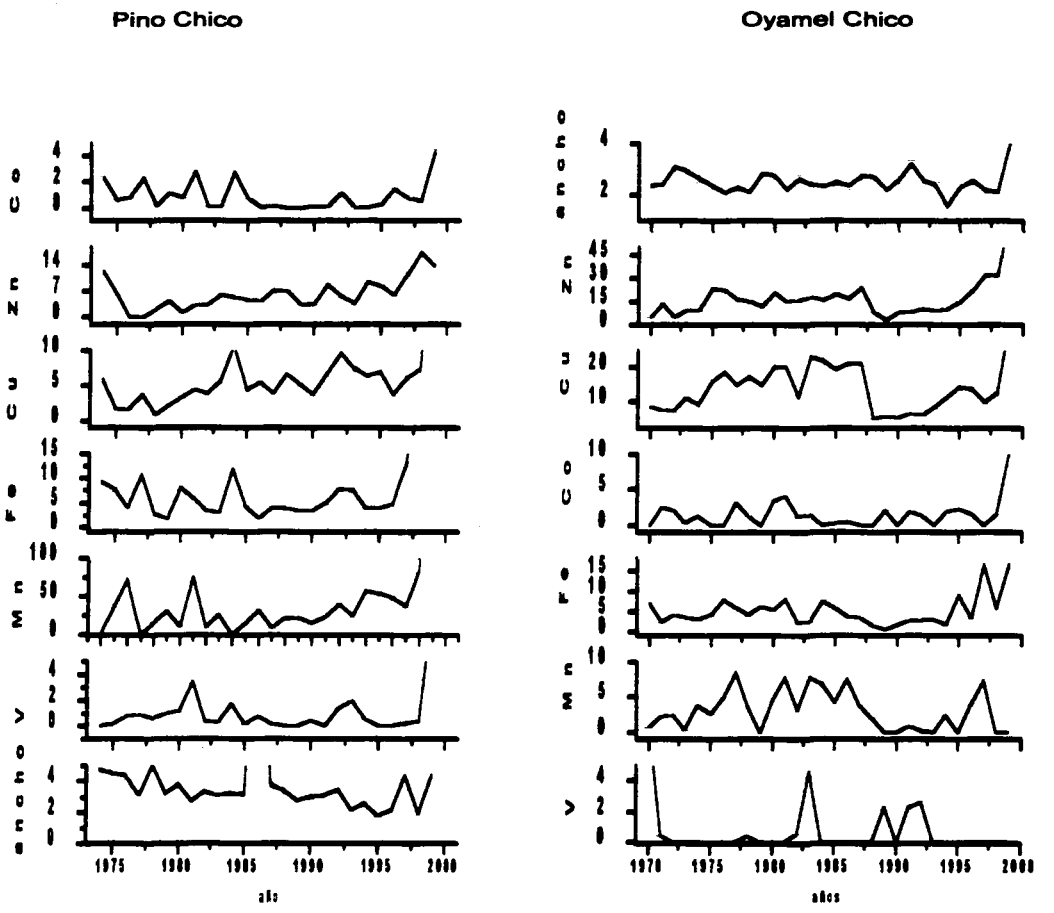


Fig. 14 Series de tiempo y concentración elemental en anillos de crecimiento en especies (*Pinus Leiophylla y Abies religiosa)* de la zona del chico.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los micronutrimentos en caso de Pino del Chico aumentan moderadamente según transcurre el tiempo, los elementos que van en orden creciente a lo largo del tiempo son Zn, Cu, Mn, y los que disminuyeron fueron Co y V en cuanto a la anchura del anillo disminuyo con excepción del último quinquenio para el caso de *Pinus*, en general la concentración se ubica en general en un rango mínimo, según Reinmann (1994) el mínimo en Co es de 2 mg/kg, para Zn es de 290, para Cu es de 27, para Fe, es de 3200 , Mn de 1641 y para V de 19 mg/kg, Sin embargo estas concentraciones se ubican en un intervalo mínimo. Y en cuanto al crecimiento, este oscila entre 4 y 2 mm/año.

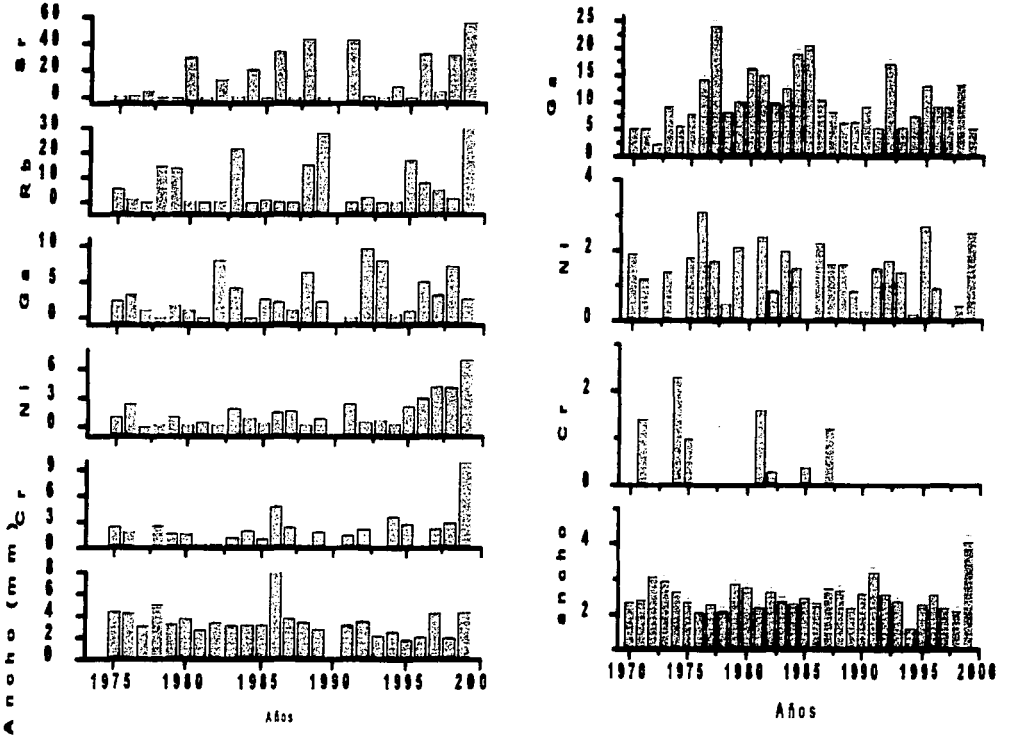
Se observa que en pino presenta una disminución en el ancho de los anillos de crecimiento en los últimos tres quinquenios mientras que para *Abies* los elementos tienen un comportamiento que va de manera ascendente para después disminuir en el en el penúltimo quinquenio. En este punto también el ancho disminuye (Figura 14).

El comportamiento de cada micronutrimento es irregular entre ellos. Sin embargo el intervalo de concentración queda muy por debajo del mínimo.

A continuación se identificaron elementos no esenciales en cada especie así como su concentración.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

10.3 ELEMENTOS NO ESENCIALES ENCONTRADOS EN EL ANALISIS DE DENDROQUIMICO DE LA ZONA DE "EL CHICO" HGO.



a b

Figura 15 series de tiempo de elementos no esenciales en a)pino y b) oyamel de la zona del Chico

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el caso de *Pinus* registra concentraciones ascendentes en el caso de Ni y un poco en Cr y mientras los demás elementos presentan un comportamiento irregular. Sin embargo las concentraciones registradas de Cr, Ni se ubican en mínimo de 4 y 8 mg/kg a lo largo de todos los años, para Sr según Reinmann se ubica muy por debajo del mínimo, para el rubidio se ubica en un rango medio de <5 y para Ga no se encontró referencia para árboles pero para plantas es de 3-30 ppm ubicándose en el medio según la referencia en las plantas, y 1 a 10 000 ppm (Kabata-Pendias,1991) figura15.

De acuerdo con el Diagrama de árbol se ubica en grupos los elementos.

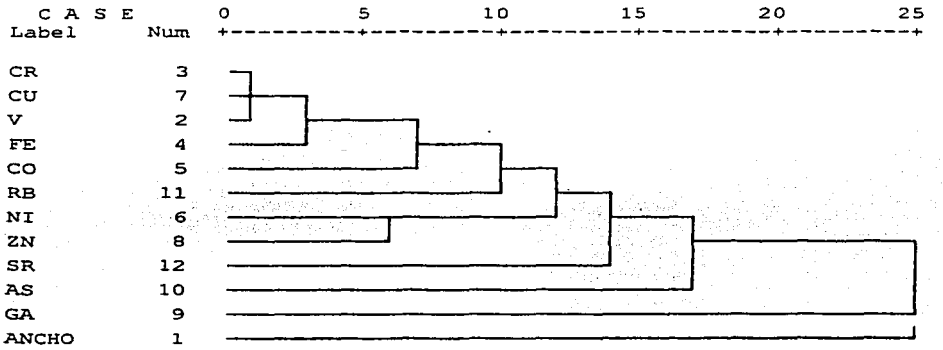


Fig. 16 Dendrograma de pino del Chico

Tal parece que Cr, Cu, y V son los elementos que se interrelacionan más entre si y el comportamiento es semejante.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Con relación al oyamel de la Zona del Chico.

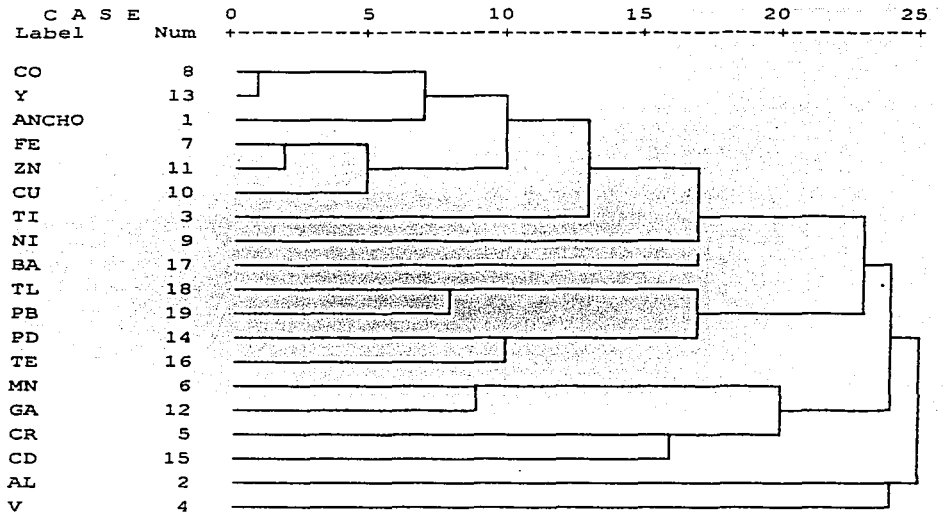


Fig. 17 Dendrograma de Oyamel de la Zona del Chico

Aquí se observa que Co es el que tiene una relación mas fuerte con el ancho, (tabla de correlaciones,en anexo), y después le sigue los elementos: Zn, Fe, y Cu.

Con el método de la extracción de componentes principales los micronutrientes extraídos para pino de la zona del Chico fueron V, Mn, Fe, Ni. Y para Oyamel fueron: Mn, Fe, Co, Cu, Y, y Zn (Tabla 6).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FACTOR ANALYSIS	Extraction: Principal components (Marked loadings are > .700000)	
Variable		Factor 2
	.02692	-.311116
V	.71984 *	-.357106
CR	-.07901	-.302438
MN	.98316 *	-.080728
FE	.91503 *	.227465
CO	-.23396	-.010108
NI	-.02138	.740110 *

a

Variable	Extraction: Principal components (Marked loadings are > .700000)		Factor 2	
	-.534162		.463994	
TI	-.543858		.190165	
V	.295969		.391193	
CR	.058283		-.343946	
MN	-.110745		-.749464	*
FE	-.752073	*	-.047539	
CO	-.761704	*	.297648	
NI	-.364248		-.012197	
CU	-.783944	*	-.384834	
ZN	-.896743	*	-.046401	
GA	-.116626		-.539034	
Y	-.752728	*	.294872	

b

Tabla 6 Extracción de componentes principales a) Pino b) Oyamel de la zona del Chico.

En función del analisis de factores, los elementos en común para ambas especies fueron Fe y el Mn. Debido a que juegan un rol importante en la fisiología del árbol. Sin embargo no se encontró estadísticamente elementos no esenciales, que jueguen un papel importante en el árbol, excepto el Y .

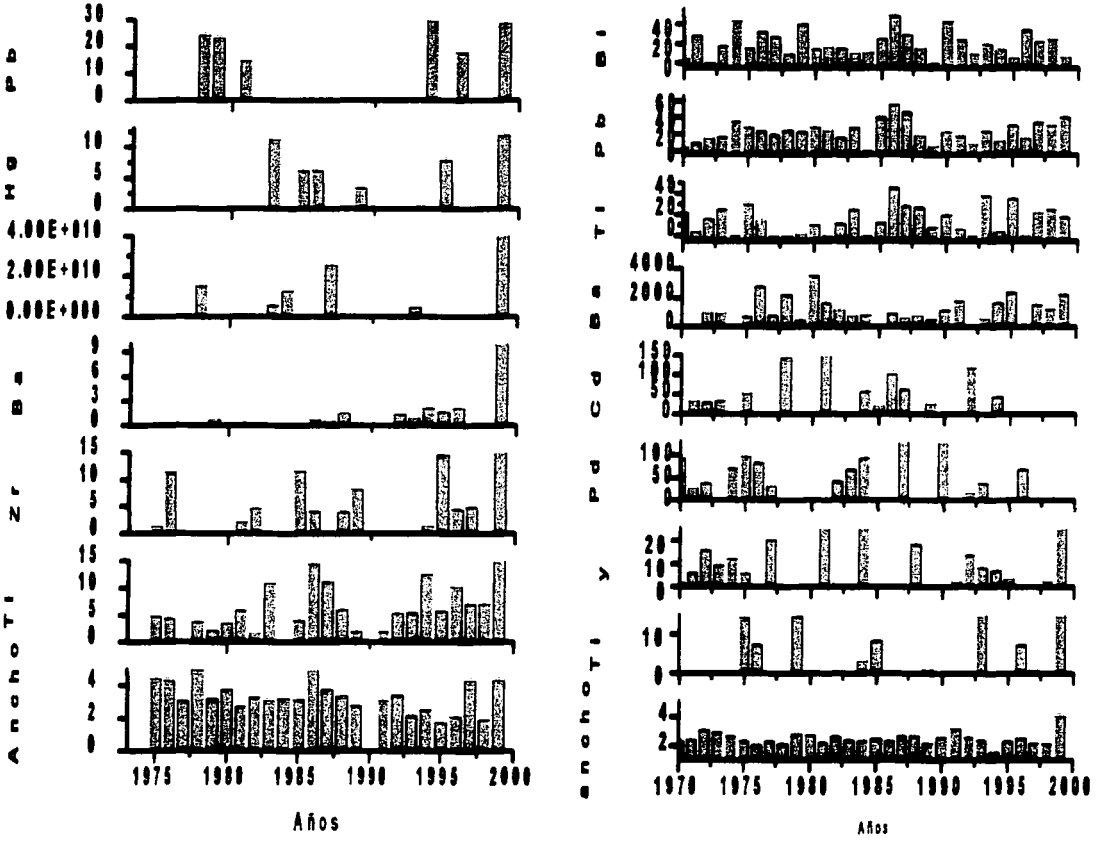
Con este analisis efectivamente corroboramos la importancia de los elementos micronutrimentos y su relación otro elementos, así como algunos macronutrimentos, los elementos que se acercan más a +1 o a -1 son elementos representativos en el cumulo de datos.

En oyamel se registraron Ga, Ni, Cr, , el primero se presenta a lo largo de todo el tiempo y se encuentra dentro del rango registrado (3-30 ppm), aunque se presentan picos importantes en el segundo y tercer quinquenio, Ni presenta picos de 2-3 mg/kg en el segundo quinquenio y disminuye en el último . Para Cr en el primer y tercer quinquenio se presentaron de 1-2 mg/kg y después ya no se detecta.

En cuanto a la anchura tanto *Pinus* como *Abies* presenta una ligera disminución en su anchura en años recientes, pino va de 4 mm/año a 2 mm/año, mientras que en oyamel va de 2 a > de 2 mm (Figura 18).

Por otro lado los elementos no esenciales se encuentra en mayor frecuencia en el Oyamel pero con una concentración menor para el caso de Pb lo registra a lo largo del tiempo pero para Pinus solo lo registra en ciertos años es decir, que es muy puntual pero con concentraciones altas. Tl aumenta ligeramente en los últimos 2 quinquenios yendo de 5 a 10 mg/Kg y en el caso del Oyamel el Talio presenta concentraciones altas en cuarto quinquenio de hasta 50 mg/kg (Figura 18).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



a b

Fig. 18 Series de tiempo de elementos no esenciales en a)Pino y b) oyamel de la Zona del Chico (Cont.)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Como se observa las concentraciones de los elementos no esenciales registra los elementos continuamente lo que no pasa con el pino ya que el segundo tiende a acumular mas pero es puntual, lo que no sucede con el *Abies religiosa.*

Sin embargo tales elementos no esenciales, se ubican en un rango mínimo o bien por debajo de este, según (Reinmann, 1998).

Este déficit de mineral es el resultado de un numero de condiciones (material parental, pH) que afectan las concentraciones elementales del suelo, y la forma en la cual estos están presentes en el suelo, véase Tabla 7

Tabla 7 FORMAS EN LAS CUALES LOS ELEMENTOS ESENCIALES SON VIABLES PARA LAS PLANTAS

ELEMENTO ESENCIAL	FORMA BIODISPONIBLE
Mo	MoO_4^-
Cu	Cu^+ Cu^{2+}
Zn	Zn^{2+}
Mn	Mn^{2+}
Fe	Fe^{2+}, Fe^{3+}
B	BO_3 , B_4O_2
S	SO_4
P	H_2PO_4
Mg	Mg^{2+}
Ca	Ca^{+2}
K	K^+

Tomado de Hale y Orcutt. 1987

Estas formas disponibles podrían estar afectadas por una importante la explotación minera. Se señalan algunos datos importantes sobre su historia, esta se divide en cinco periodos principalmente.

1. Los primeros 200 años posteriores a la conquista hasta 1612.
2. Desde el gran proyecto de desagüe (1738) hasta la guerra de independencia (1810).
3. La modernización, bajo la gerencia de dueños particulares ingleses, mexicanos y norteamericanos, hasta 1906.
4. El periodo bajo la explotación privada desde 1906 hasta 1947.
5. La prolongación de la vida productiva del distrito bajo el control mexicano desde 1947 hasta 1990 en que fue desincorporada del control estatal, pasando nuevamente a la iniciativa privada.

Por lo visto, la producción tiene un largo tiempo trabajando, (Tabla 8). la producción anual de elementos metálicos y no metálicos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tabla 8 volumen de la producción minera del Estado de Hidalgo (Toneladas).

PRODUCTO	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Metalicos										
Oro(Kg)	388	416	488	484	443	431	389	427	478	389
Plata(kg	107101	124403	137 408	132 006	138 299	142 160	116 022	146 592	150 389	132 195
Cadmio	2	48	6	84	5	11	28	2	-	-
Cobre	1 548	1 209	1 227	1 223	1 609	1 408	998	1 582	1 382	1 340
Manganeso	194307	203832	182 190	132 378	166 196	148 050	173 698	146 619	168 867	179 237
Plomo	5 643	7 397	9 066	8 399	8 252	9 165	4 609	7 618	7 824	7 725
Zinc	11 472	12 783	14 431	13 127	12 572	12 484	12 384	13 637	12 846	14 010
No metalicos										
Arcilla	28 169	67 269	18 428	3 68870	7 668	12 283	10 228	4 383	654 742	697 578
Azufre	586	-	659	2 791	739	797	786	583	819	799
Caliche	88 367	198 682	181 882	226 382	344 689	224 784	284 836	361 918	287 486	324 283
Caliza	6 504 815	6 686 537	6 988 142	4 959 318	3 936 213	4 068 601	4 084 543	3 137 345	3 239 506	3 641 108
Caolin	63 689	51 168	48 830	22 782	28 478	21 686	29 738	8 781	10 186	6.700
Feldespato	7 800	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fosforita	291.389	228 209	222 630	191 889	193 4987	199 721	291 749	184 547	288 447	110.182
Marmól	19 293	5 052	5 580	5 472	2 589	4 160	4 090	4 139	7 421	8 312
Silice	22 577	-	-	-	-	-	-	-	-	-

FUENTE: Dirección general de Minas, SEMIP. Instituto Naconal de Estadistica, Geografia e Informatica (INEGI), Secretaria de Programación y Presupuesto (SPP) e investigación directa.

Estos datos nos indican que no solo se ha explotados minerales metálicos sino también no metálicos. Con esto no quiero decir que se esta acabando los minerales sino que las plantas tienden a absorber los minerales solubles a medida que estos están disponibles en las raíces.

Por otro lado el tipo de suelo que presenta en algunas zonas es muy poroso de ahí que se presente el lavado de nutrientes y elementos no esenciales, así como la perdida de agua muy necesaria para el *Abies religiosa*.

Por otro lado la contaminación que genera los tratamientos mineros a los elementos que son extraídos, que pudieran contribuir a darle ciertas condiciones al suelo y así modificar su quimica tanto del suelo como el de la madera un ejemplo es el elemento Tl que se acumula debido a minas de Pb, Zn y Cu(Reinmann,1998) y esta zona es minera.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

10.4 MACRONURIMENTOS Y MICRONUTRIMENTOS EN ANILLOS DE CRECIMIENTO EN PINO Y OYAMEL DEL DESIERTO DE LOS LEONES.

En general los macros se encuentran en los rangos mínimos y por debajo del mínimo(K y Ca) para *Abies religiosa* y *Pinus leiophylla* según Reinmann para cloro y azufre, no se puede mencionar si están en algún rango, porque no esta referido.

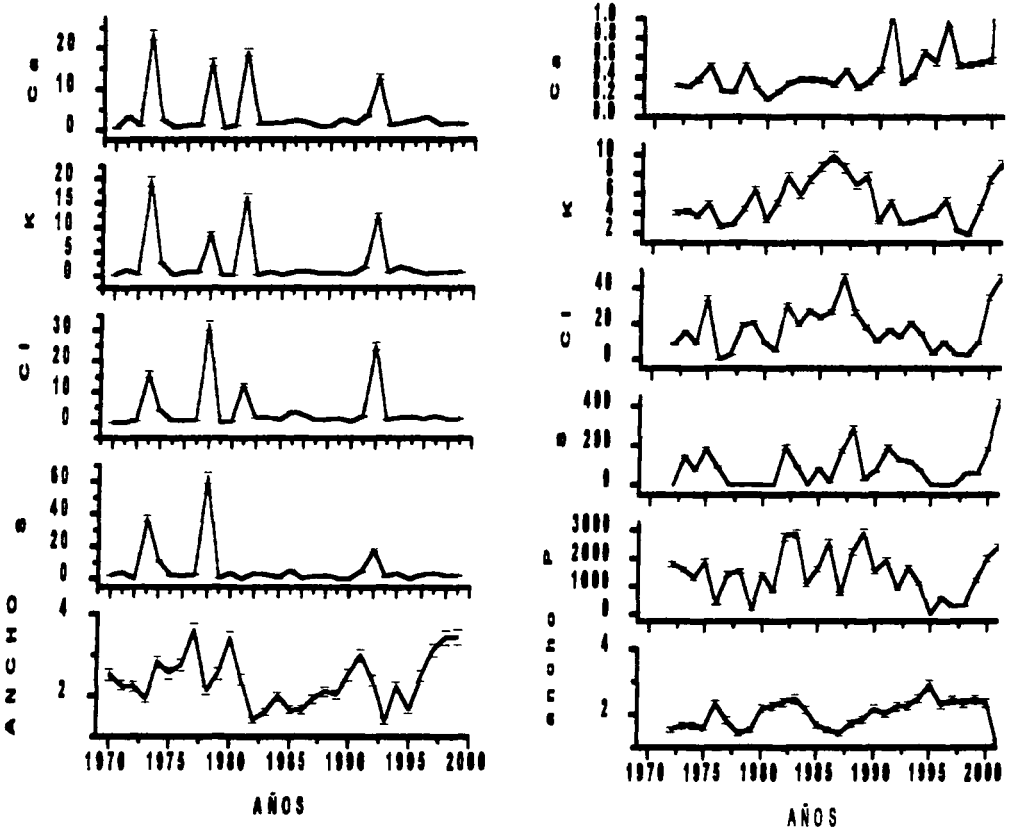
Las concentraciones elementales en Pino, los macronutrimentos leídos (K, Ca) se ubican en el rango mínimo así como los micronutrientes esenciales Mn,Zn por debajo de mínimo y Cu entre un medio según la referencia. El comportamiento entre estos elementos es semejante al transcurrir el tiempo. Observándose picos en los años 1973, 1978,1982,1983,1985,1992, 1998.

Al analizar el elemento Ca , observamos, que en los primeros tres quinquenios presenta algunos picos sin embargo disminuye drásticamente en 1983 hasta presentarse otro pico en 1993 y vuelve a disminuir en el ultimo quinquenio en los este mismo comportamiento se presenta en los elementos K, S, Cl. Frelich (1989), Watmough y Hutchinson 1999 han reportado que la concentración de Ca, Mg y K a disminuido en el Xilema en el último siglo, debido a la influencia del deposito atmosférico.

El caso de *Abies religiosa* cambia totalmente en su comportamiento sin embargo es coincidente el decremento que presenta en el penúltimo quinquenio en todos sus elementos macronutrimentos así como ligeramente en su ancho. Estos cambios de concentración sean debido a la fisiología de cada árbol.

En general en ambas especies en el ultimo quinquenio disminuyen sus macronutrientes siendo que se ubican en un rango mínimo en especies (figura 19) .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



PINO DDLL

OYAMEL DEL DDLLL

Fig.19 Series de tiempo de la concentración elemental de *Pinus leiophylla* y *Abies religiosa*.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Al analizar el dendrograma observamos que los elementos los elementos Cl, S son los que se ubican cerca del ancho, pero también presentan un comportamiento semejante a lo largo del tiempo pero presenta una concentración diferente así como K y Ca presentan un comportamiento semejante.

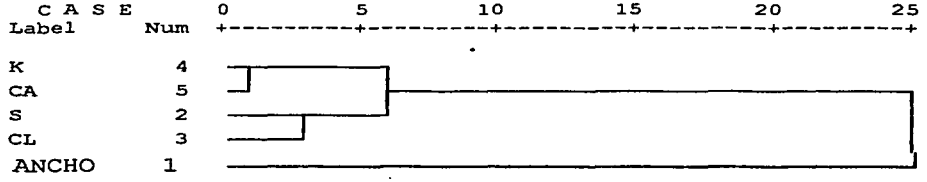


Figura 20 Dendrograma de los macronutrientes de *Pinus* del Desierto de los Leones

Al aplicar el analisis de factores observamos que los elementos principales fueron : Cl, K y Ca. Observándose al Ca y al K como elementos que presentan un mayor índice correlativo. Tabla 9

FACTOR ANALYSIS — Extraction: Principal components (Marked loadings are > .700000)

Variable	Factor 1		Factor 2
[illegible]	.114010		-.069615
TEMP	.270697		-.027402
PREC	.082426		-.225333
PST	.101550		-.278918
SO2	-.089748		-.068011
S	-.699350		.329732
CL	-.846836	*	-.108916
K	-.974227	*	.026837
CA	-.989021	*	.071450

Tabla 9 Extracción de componentes principales de macronutrientes en *Pinus leiophylla* de la Zona del Desierto de los Leones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para la especie *Abies religiosa* presenta se tiene el siguiente dendrograma

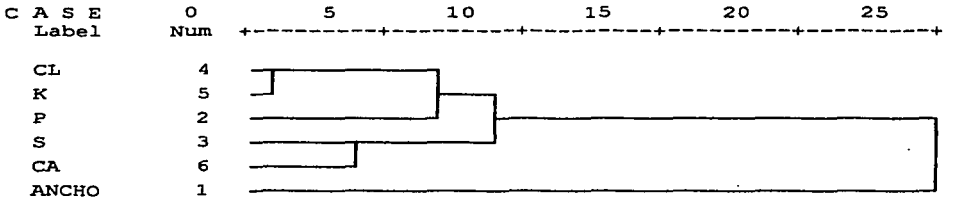


Figura 21 Dendrograma de oyamel de macronutrientes de la zona del desierto de los Leones.

En el grupo se ubica a Ca y S como los elementos con un comportamiento semejante y correlacionados entre si, también para Cl y K .Por otro lado Cl y K son los elementos con mayor correlación con el ancho.

Veamos el analisis de factores, se tiene que los elementos extraídos fueron: S y Ca Tabla 10.

FACTOR ANALYSIS	Extraction: Principal factors (Centroid) (Marked loadings are > .700000)	
Variable		Factor 2
[illegible]	-.436099	.348760
TEMP	.492344	.696913
PREC	-.222659	.540459
PST	.155976	-.205398
SO2	.473368	-.177760
AL	-.109525	-.167985
P	.400313	-.342489
S	.719700 *	-.046168
CL	.672499	-.448550
K	.551850	-.421995
CA	.810013 *	.367366

Tabla 10 Extracción de componentes principales de *Abies religiosa* de la zona del Desierto de los Leones.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los elementos en común entre las muestras en la zona del Desierto de los Leones: es el elemento Ca después K , S y Cl.

Y para la Zona de el El Chico, los elementos son Ca y K.

Ca y K son elementos esenciales para los organismos por ejemplo el Ca es especifico para funciones fisiológicas. Necesario para la formación de la lamina media de las células en síntesis de pectato de Ca.

- K es necesario para la formación y transformaciones del almidón. Control y regulación de las actividades de varios elementos esenciales.
- Ajustes de la apertura de los estomas y relaciones con el agua.
- Metabolismo del N y formación de Proteínas.
- Neutralización de los fisiológicamente importantes de ac. Orgánicos.
- La activación de Ac. Pirúvico en algunas plantas.

Estas son algunas funciones de K y Ca, sin embargo estas concentraciones pueden cambiar a través del tiempo fisiológicamente o por contaminación.

Para el caso del desierto de los leones el elemento esencial Zn en ambas especies se encuentra en un rango mínimo pues en pino se ubica de 200 a 500 mg/kg en el primer Quinquenio y en el Oyamel lo registra a lo largo del tiempo y va en aumento, sin embargo se ubica en el rango mínimo pues esta de 2 – 35 mg/kg. a diferencia del chico este se ubica en menor concentración, Alvarado (1993) sugiere que la deficiencia de Zn puede estar asociado al decline arbóreo, para oyamel.

Para Cu en Pino se encuentra en un un punto muy alto que van de 200mg/kg en en primer quinquenio, después disminuye aumenta en el tercer quinquenio con 250 mg/kg disminuye y luego aumenta en el quinto con 200 mg/kg para después disminuir en el ultimo quinquenio. El oyamel registro de una manera continua y va ascendiendo conforme aumentan los años y va de 8- 10 mg/kg. que según la referencia esta en el rango mínimo o adecuado. Para Cobalto el comportamiento es semejante pero las concentraciones son muy diferentes ya que oyamel presenta concentraciones de 1 – 2 mg/kg mientras que pino de 100- 500 mg/kg.

Los elementos : V, Fe, Co, presentaron rangos máximos (Véase tabla de rangos elementales) dentro de los anillos de crecimiento, mostrando concentraciones altas en el primer y segundo quinquenio, para después disminuir en el tercer y aumentar en el cuarto disminuyendo en el quinto

Pero para oyamel presenta concentraciones pequeñas de 1 – 6 mg/kg de V en el tercer mas alto, cuarto y quinto bajan.

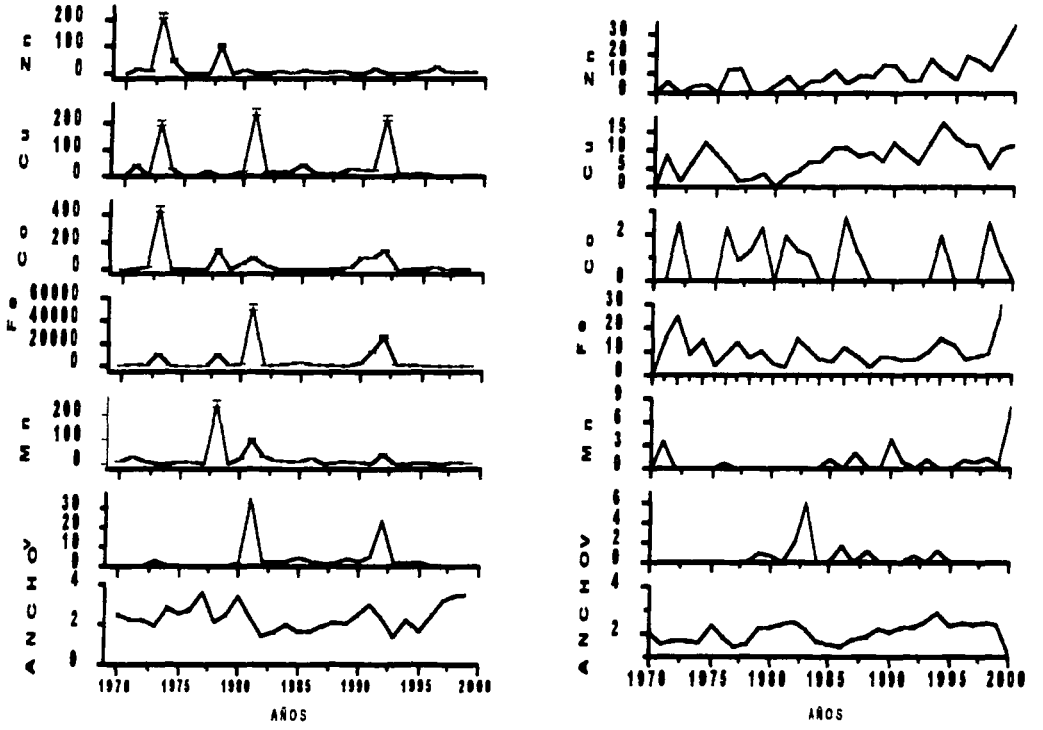
Mn se presenta en el mismo con 2 mg/kg en el primer quinquenio, presentándose otro pico en el cuarto y quinto quinquenio y este va de 2-6 mg/kg Ver figura 22.

En cambio en pino el segundo quinquenio tiene 250 mg/kg luego disminuye a 100 ppm

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En cambio en pino el segundo quinquenio tiene 250 mg/kg luego disminuye a 100 ppm y así disminuye gradualmente hasta no ser detectado. Se considera que la deficiencia de manganeso afecta a funciones metabólicas de los arboles.

Se ha reportado que los cambios sensibles, presentados en la concentración de Mn son indicadores de cambios de pH en el suelo (Guyette et al.,1992)



Pino del DDLLL **Oyamel DDLL**

Figura 22 Series de tiempo y concentración elemental de micronutrientes en pino y

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Al observar el diagrama cluster de los micronutrimentos con el ancho se observa en ambas especies que los elementos relacionados con el ancho son: V, Fe, Zn.

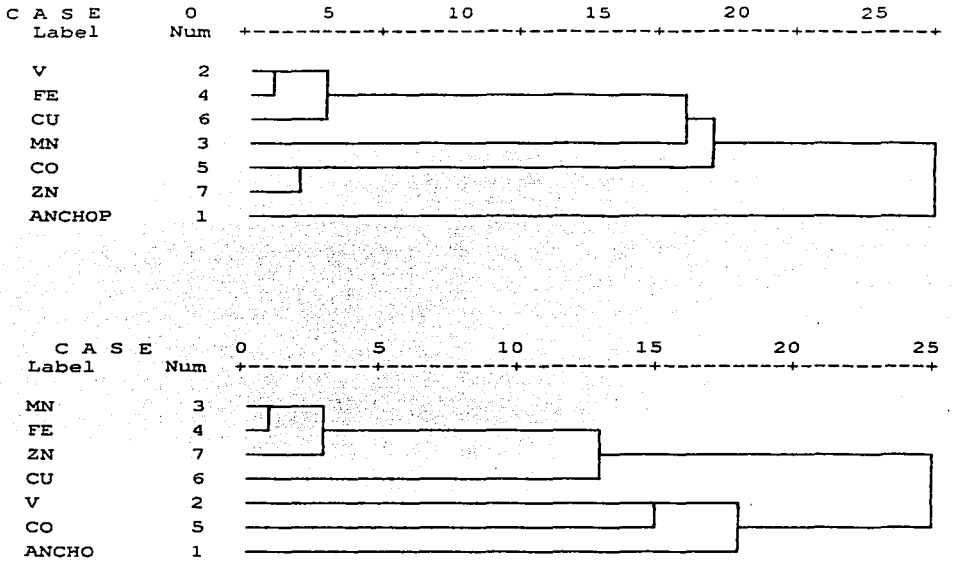


Fig. 23 Dendrograma de pino y oyamel de la zona del desierto de los Leones

Al aplicar el analisis de factores se obtuvo lo siguiente (tabla 11).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

FACTOR ANALYSIS	Extraction: Principal components (Marked loadings are > .700000)			
Variable			Factor 2	
V	-.173451		-.238645	
CR	-.000577		-.360776	
MN	.817757	*	.192092	
FE	.841859	*	.088009	
CO	-.141914		-.223113	
NI	.624160		.101986	
CU	.361857		.503411	
ZN	.741025	*	.439959	

A

FACTOR ANALYSIS	Extraction: Principal components (Marked loadings are > .700000)			
Variable			Factor 2	
V	-.640889		-.656613	
CR	-.624736		-.297605	
MN	-.570184		-.168614	
FE	-.775569	*	-.516410	
CO	-.833438	*	.438481	
NI	-.482861		.698153	
CU	-.848401	*	-.240213	
ZN	-.673030		.704673	*

B

Tabla 11 Extracción de componentes principales para a)Oyamel y b) Pino de la zona del DDLL

Los elementos extraídos en común fueron: Fe, y Zn que son importantes en algunas funciones metabólicas como la relación del Fe con síntomas meristemáticos: hidrogenasa, catalasa, oxidasa y citocromos. Asociado con la síntesis de proteínas cloroplásticas. Es importante la cantidad de Fe en relación con la cantidad de otros elementos capaz de reemplazar al Mo para el funcionamiento de la reductasa del nitrato. Necesario para la enzima flavina que reduce al citocromo C.

Y el Zn es un activador de enzima: descarboxilasa, oxalacética,, bacetinasa, cisteina de sulfihidrasa, anhidrasa, carbónica, dihidropeptidasa (Cervantes C., Moreno R., 1999).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La influencia de la contaminación de la ciudad de México llega a incidir en el Parque debido a la dirección de los vientos prevalecientes que son de N-NE a S-SO (Jauregui, 1958), precisamente en el área de estudio. Estos vientos arriban continuamente con una gran carga de emisiones de contaminantes fuentes de emisión estacionario y móvil, provenientes del D.F. y de la zona metropolitana. Los principales componentes de la contaminación son: ozono , hidrocarburos (525 000 ton/año), Dióxido de azufre (411 000 ton/año y óxidos de nitrógeno (132000 ton/ año) (Bravo, 1987).

La detección de estos componentes como lo son PST puede ser observado en las siguientes gráficas de elementos no esenciales figura 24.

10.5 ELEMENTOS NO ESENCIALES ENCONTRADOS EN EL ANALISIS DEL DDLL

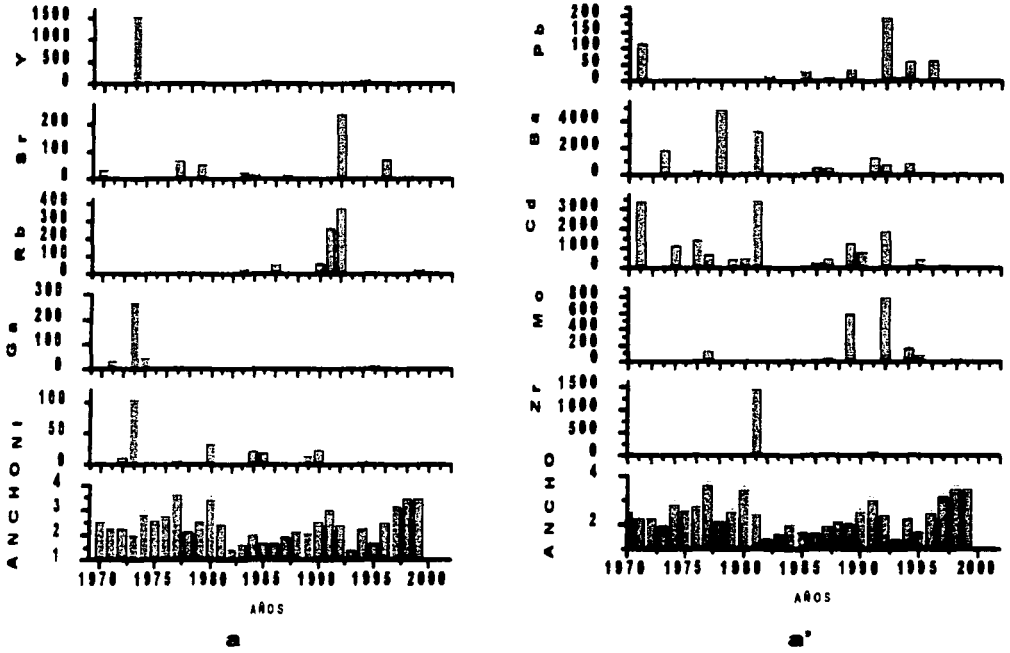


Figura 24 Series de tiempo de elementos no esenciales de a y a')Pino de la Zona del Desierto de Los Leones

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para la especie *Pinus leiophylla* las concentraciones encontradas son muy altas pero puntuales. Esto podría provocar un efecto antagónico con los macronutrientes (Figura 25-28).
Este comportamiento de los elementos esenciales podría ser explicado por el efecto de antagonismo entre los elementos traza y los macronutrientes (tabla12).

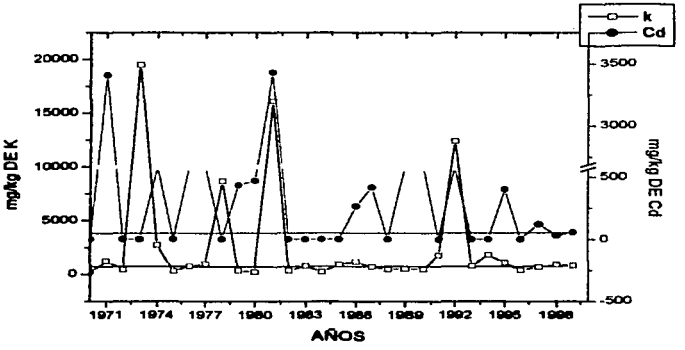
Tabla 12. ELEMENTOS ESENCIALES Y SU RELACIÓN CON LOS TRAZA

ELEMENTOS PRINCIPAL	ELEMENTOS ANTAGONICOS
Ca	Ba, Cd, Co, Cu, Fe, Ni, Pb, Sr, Zn
K	Cd, Cr, Mo, Mn, Rb
S	As, Ba, Fe, Mo, Pb, Zn
Mn	Rb, Cr
Mo	Cu, Mn, Fe,

Tomado de Kabata-Pendias (1984)

Para el elemento potasio se presenta picos en los 2 primeros quinquenios, sin embargo este disminuye drásticamente en el tercer quinquenio, observadose otro pico en el año 1993, y disminuye en el ultimo. De acuerdo con kabata- Pendias los elementos antagónicos podrían influir en la disminución de elementos esenciales (Figura 25 al 28).

Figura 25 Cd como elemento antagónico de K



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

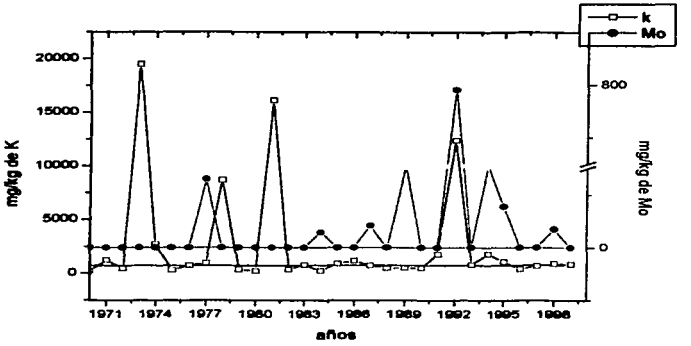


Figura 26 Mo como elemento antagónico de

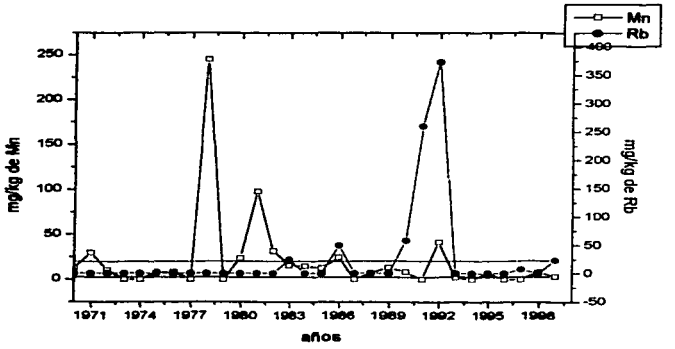


Figura 27 Rb como antagónico de Mn

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

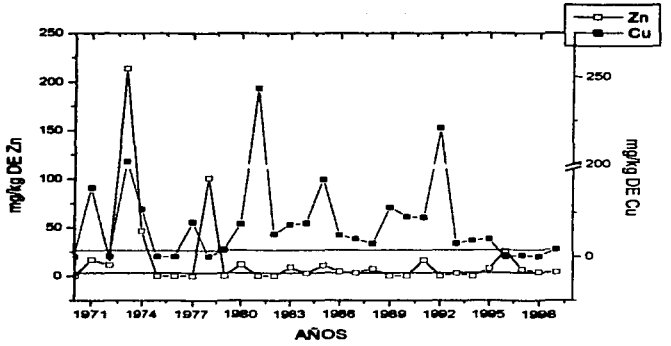


Figura 28 Cu como elemento antagónico de Zn

Como se observa en las figuras la influencia de los elementos traza sobre los elementos esenciales afectan en la absorción de los mismos en los últimos 5 periodos trianuales.

Por otro lado *Abies religiosa* a pesar de que sus concentraciones detectadas son mínimas, se presenta a lo largo del tiempo, por ejemplo Pb lo detecta en el primer , cuarto y quinto quinquenio al igual que pino pero con diferente concentración, sin embargo *Abies* lo detecta también en el tercer quinquenio (Figura 29).

Pero tal parece que las concentraciones de elementos traza están disminuyen en los últimos 5 años como se ve en la gráfica, en plomo se presentan picos en los últimos 20 años pero se consideran en el rango mínimo debido al uso de gasolina sin plomo (Palazuelos, 1991).

El caso de Ni también es digno de mencionare pues las concentraciones en el pino son muy altas en primer quinquenio y después disminuyen hasta no ser detectado, en cambio en *Abies religiosa* lo detecta a lo largo de tiempo con concentraciones bajas pero lo que se ve en la gráfica es que va en aumento en el ultimo quinquenio (Figura 29).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

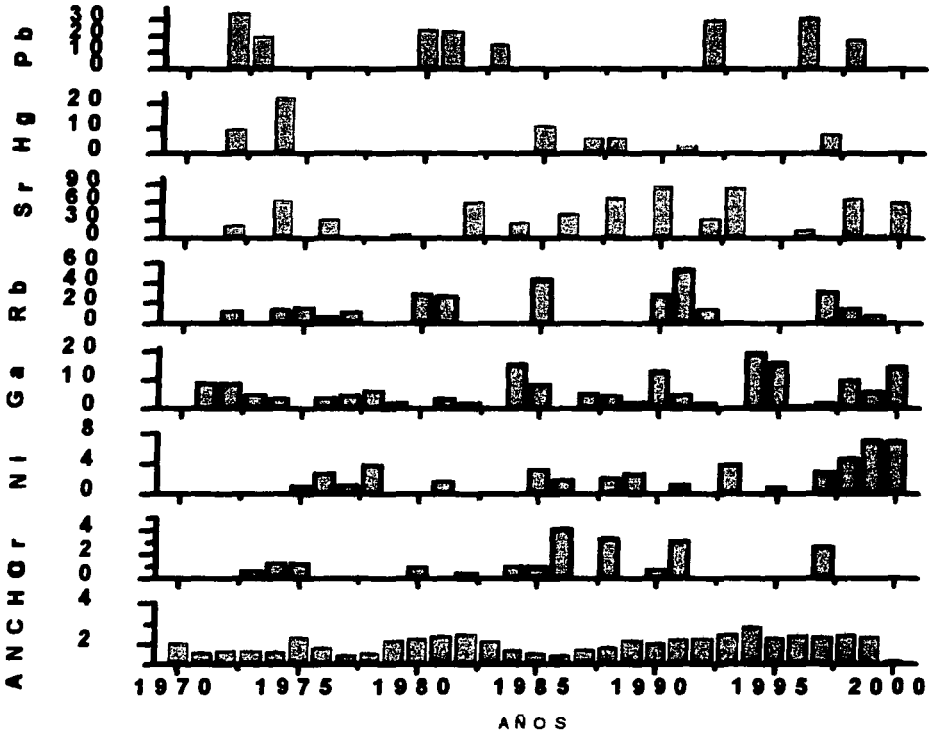


Fig. 29 Series de tiempo de elementos no esenciales en oyamel del Desierto de los Leones

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por otro lado la aplicación del analisis de factores en oyamel no arrojo ningún factor de analisis alto, mientras que para pino arrojo a los elementos: Ga, Y y Ba (Tabla 13) .

FACTOR ANALYSIS	Extraction: Principal components (Marked loadings are > .700000)	
Variable	[redacted]	Factor 2
GA	-.563164	.710358 *
AS	.154344	.037230
RB	-.294265	-.490354
SR	-.252175	-.497001
Y	-.576100	.707094 *
ZR	-.491159	-.456058
MO	-.233507	-.492947
CD	-.374691	-.537502
BA	-.796775 *	-.045213
PB	-.234179	-.497326

Tabla 13. Extracción de elementos no esenciales de pino de la zona del desierto de los leones.

Tales elementos son los que presentan un índice de factor mayor a los demás elementos no esenciales, a pesar de que no juegan un rol en la fisiología del árbol, son tóxicos ya que estos provienen de las emisiones de elementos traza de la ciudad de México llega a ser muy altos (Vizcaino, 1975), estimando un 60% de la contaminación del aires es originado por fuentes movibles. En adición de algunas fundidoras y otros proceso industriales los cuales contribuye a lo altos niveles de emisión originados de la ciudad de México(Albert y Badillo, 1991, Namihira et al., 1993) . A continuación se muestra una tabla de las fuentes de aportación según el contaminante.

Tabla 14 Fuentes de aportación para algunos elementos traza

CONTAMINANTE	FUENTES PROVEEDORAS
V	combustión de autos, de carbón, industria metalúrgica, polvo geogénico
Cr	polvo geogénico, industria química, electrometalurgia, combustión de gas natural, y de fertilizantes fosforados, fundidores de Cobre
Fe	la industria del acero, polvo geogénico.
Co	es adicionado por combustión de carbón polvo y fertilizantes
Ga	Origen geogénico, combustión de carbón, producción de Al, Mn, Cr, Fe.
Ba	Minas de Cu, industria automovilística y metalurgia.
Y	Minería y sus procesos.
Ni	de Fundidores de Cu-Ni, Metalurgia, industria quimica , refinería de petróleo, deposito de basura, fertilizantes, emisiones vehiculares, Volcanes

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

XI. CONCLUSIONES

- ✓ La especie que mostró una relación importante con los parámetros climatológicos fue Oyamel, de la zona del Desierto de los Leones. Su crecimiento se relaciono con el dióxido de azufre que presenta una influencia negativa en el crecimiento del árbol,

- ✓ *Abies religiosa* es un biomonitor ambiental y se recomienda para efectuar la detección de elementos de manera continua por ser más sensible que el *Pinus leiophylla*, este último nos indicó de manera puntual concentraciones altas en ciertos años debido a su crecimiento rápido.

- ✓ El decremento en la anchura del anillo de oyamel se vio influida por el SO_2, la deficiencia de macronutrimentos y de elementos esenciales como Zn, Mn, Fe.

- ✓ Para el caso de pino sucedió lo mismo, pero en este se efectúo un fenómeno de antagonismo por algunos metales traza en la zona del Desierto de los leones.

- ✓ La mayor contaminación registrada fue para el Parque Recreativo Desierto de Los Leones, debido a que en este encontramos las concentraciones máximas de algunos elementos (Fe, V, Cr, Ni, Cu, Mo y Cd) pero de manera puntual en el Pino.

- ✓ La técnica PIXE se recomienda, debido a su analisis multielemental preciso y su exactitud, por el analisis directo de la muestra y no requerir tratamiento previo de la muestra.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

XII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la extracción de núcleos sea en temporada de lluvias, para facilitar la extracción de las muestras.

- Por otro lado el realizar una mejor investigación sobre la fisiología de *Abies religiosa* y *Pinus sp.* aportaría mucho sobre el efecto que esta provocando el deposito atmosférico a la comunidad forestal.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

XIII. LITERATURA CITADA

- Albert , L., Badillo, F.(1991). Enviromental lead in Mexico, review Enviromental Contamination and Toxicology. 117: 1-49

- Angeles Cervantes E. (1998). Bases para la restauración del estrato árboreo de los bosques mixtos templados.Tesis. pp. 147

- Alloway, B.J. (1990). Heavy metal in soil. Edit. Jhon wiley and suns, Inc. pp. 331

- Alvarado, R., de Bauer y L. I., Galindo, A.J., (1993). Decline of sacred fir (Abies religiosa) in forest park south of Mexico City. Enviromental Pollution .80:115-121

- Baes C.F., McLaughlin, S. B. (1984). Trace elements in tree rings: evidence of recent and historical air pollution Science 224: 494-497.

- Baes C.F., McLaughlin, S. B., Hagan, T.A.. Proceed. Symp. On Air Pollution and the productivity of the Forest (1984). Issac Walton League, Arlington, Virginia, pp. 273-286.

- Bondietti, E.A. Momoshima, N., Shortle, W.C., Smith, K. T. (1990). A historical perspective on divalent cation trends in red spruce stemwood and the hypothetical relationship to acidic deposition.Can J. For. Res. 20: 1850-1858.

- Bidwell, Roger Grafton Sherlford. (1979). Fisiologia Vegetal.edit. AGT, S.A. México D.F.

- Bravo, H.A. Perrin, G.R. Sosa, E.R. y Torres, J. (1987) Contaminación atmosferica por fuentes moviles zona metropolitana de la Ciudad de México. Tercer encuentro Iberoamericano sobre la Ciudad, 27-32 de Julio. CIC de México A.C.

- Calva Vasquez G. (1999). Monitoreo de la depositación ácida en zonas boscosas de la Cuenca de México, usando como superficie de exposición la corteza árborea de tres pinaceas. Tesis de maestria. pp. 1-5

- Cervantes, C., Moreno, S. R. (1999). Contaminación ambiental por metales pesados. México. AGT.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Cetenal (1977). Carta Edafológica de la Ciudad de México. Clave E-14-A39. escala 1:50 000

- Cielsa M. William, Macias Samano Jorge E. (1987). Desierto de los Leones. A Forest in Crisis. Amarican forest mgazine. Nov-Dic pp. 2-15

- Core H.A. Wacote Acday. (1979). Wood structure and identification. Edit Siracusa. pp. 16.17,19 y 91.

- Cutre B. E.,Húyete P. Richard. (1993). Anatomical, Chemical and Ecological Factors Affecting Tree species choice in Dendrochemistry studies. J. Environ. Qual. 22: 611-614

- De Bauer, L. I., and Krupa, S.V. (1990). The Valley of Mexico: cummary of observational studies on its air quality and effects on vegetation. Enviromental Pollution 65, 109-125

- Durand R., Shelley H. P. (1999). Tree Chemistry and Prehistory in the American southwest. Journal of Archaeological Science. 26. Pp. 185-203

- Ekland M. (1995). Cadmium and lead deposition around a Swedish battery plant recorded in oak tree rings. Enviromental Qual. 24.126-131

- Enciclopedia Microsoft® Encarta® (2002). © 1993-2001 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.

- Ferretti, M., Udisti, R., Barbolani, E. (1995). A new approach to experimental data evaluation fromm tree ring analysis, Fresenius J. Anal. Chem..343:607-611

- Frelich, L.E., J.G. Bockheim y J.E. Leide. (1989). Historical trends in tree-rings growth and Chemistry a cross an air-quality gradient in Wisconsin. Can J. For. Res.19:113-121

- Fritts, H. C. (1976). Tree-rings and Climate. Academic Press, London -New York- San Francisco. .pp. 245

- Fuller, Carothers, Payne B.1974. Botanica . Edit. Interamericana. México D.F. pp. 109-131

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- García, L. (1993).Ciencia y desarrollo. Vol XIX No. 113: 31-39
- Guyette, R.P., Cutter B.E., Henderson. G.S. (1989). Long-term relationships between molybdenum and sulfur in red cedar tree rings. J. Environ. Qual.. 1B: 385-389
- Guyette,R.P., Henderson, G.S., Cutter, B. E . (1992). Reconstructung soil pH from manganese concentrations in tree- rings. Forest Science 38 : 727-737.
- Hale, G.I. Maynard, Orcutt, M. David. (1987). The Physiology of plants under stress. Edit Wiley interscience. pp 73
- Hall G. S., Nad M. Nauman. (1984). Element analysis of *Pinus rigida* intra-anual growth rings by photon- induced X ray emission. J. Radianal. Nucl. Chem. Letters. 87: 317-330
- Hayemer J., Shinkyungown, M. (1995). Extraction of Cd and Pb from stem Word of pine (*Pinus silvestry L.*) Trees with Vanous Solutions. Angew. Bot. 69:55-59
- Hayemer J., T. Wienand. (1996). Radial distributions of Pb in stems of youngg-Norway spruce trees growth in Pb - contaminated soil. Tree Physiology 16: 591-594.
- Hirano T., Morimoto K. (1999). Groeth reduction of the Japanese black Pine corresponding to an air pollution episode. Enviromental polllution 106: 55—12
- Injuk, J.,Nagj M., Valcovik, V.(1987). Variations of trace elements contents within single tree rings. Anal. Chim. Acta 195:299-305
- Jauregui,O.E. (1958). El aumento de la turbiedad del aire en la Ciudad de México. Rev.ing. Hidr. En Mex., Vol 12(3) Pp 400.
- Johansson, S., Campbell, J., Malmqvist, K. (1995). Particle- induced X- ray Emission Spectrometry (PIXE). 133: 23-26.
- Jonnson A., Ekland, M., Hakansson. (1997). Heavy Metals in the 20 th Century recorded in Oak tree rings. J. Envirom. Qual. 26: 163- 164.
- Kabata-Pendias, A., Pendias, H.(1984). Trace elements in Soil and Plants. CRC. Press. Boca Raton, Fla. pp. 67-73

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Kröger, Romo, C.M. Avila, L. Eaton, C., Lopez, L.A. (1996). Analysis of contaminating elements in tree-rings in Santiago, Chile. International Journal of PIXE. 6: 331-337.

- LeBlanc, D.C., Reynal, D.J., White, E.H.(1989). Acidic deposition and tree growth: 1. The use os stem analysis to study historical growth patterns. Journal of Enviromental Quality. 16: 325-333.

- Legge, A.H., Kaufmann, H.C., Winchester, J.W. (1984). Tree-ring analysis by PIXE for a historical record of doil chemistry response to acidic air pollution. Nucl.Instrum. Methods Phys. Res. B3:507-510.

- Levy G. Brechet C., Becker M .(1995). Element análisis of tree rings in pedunculate oak heartwood: an indicator of historical trends in the soil chemistry, related to atmospheric deposition. Ann .Sci For. 53: 685-696.

- Loneragan, J.F. (1975). The availability and absortion of trace elements in soil-plant systems and their relation to movement and concentration of trace elements in plants, in *Trace elements in Soil- Animal systems,* Nicholas, D. J. D. And Egan, A. D., Eds. Academic Press. New Yoork. 109.

- Markert, B. 1993. Plants as Bioindicators for Heavy Metals in the Terrestrial Enviroment. Edit. VCH, RFG. Chap I,II, III and IV(D. 26, D. 27).

- Martin, R.R. Silvestre, T. Biesinger, M.C., (1994). secondary ion mass spectroscopy (SIMS) in the analysis of elemental micro-patterns in tree rings. Can. J. For. Res. 2312-2313

- Mashiro, T. , Shigeyuki, S., Koichiro, G. , Akira, S. (1996). Stemflow Chemistry of urban street trees. Enviromental pollution 96: 107- 109

- McClenahen, J. R., Dochinger, L. S., 1985. Tree ring response of white oak to climate and air pollution near to Ohio river Valley. Journak of Enviromental Quality 14: 274-280

- Mengel K. , Kirby, E. A., (1978).*Principles of plant nutrition.*International Potash. pp. 593

- Miranda Martín del Campo J. (1996). Técnicas analíticas de origen nuclear. Un curso introductorio.IFUNAM México pp. 63-73

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Moore, D. P. (1972). Mechanisms of micronutrient uptake by plants, in *Micronutrients in Agriculture,* Mortvedt.Eds. Soil Science Society of America, Mdison, Wis. Columbia.pp 155.

- Moser, M., Bubb F., Jhonston, P. N. El Bounanani M., Stannard, W. B., Short, R. C. (1998). Applications of external beam PIXE at RMIT. Nuclear Instruments and Physics Research B 139: 164-168.

- Nagj, M., Injuk , J. y Valkovik, V. (1987). Trace element concentration variations in tree rings. Nuclear Instruments and Methods in Physucs Research B22: 465-472

- Namihira, D., Saldivar, L., Pustilnik, N., Carreon, G.j., Salinas M. E. (1993). Lead in human blood and milk from nursing womwn living near a smelter in México City and Los Angeles. Atmosheric Enviroment 28: 141-148

- Niembro, Rocas A. (1986) Mecanismo de reproducción sexual en los pinos.Edit Limusa. PP.130

- Penninckx, V., Meerts, P., Herbauts, J., Gruber, W. (1999). Ring width and element concentrations in beech (*Fagus sylvatica* L.) from a periurban forest in central Belgium. Forest Ecology and Management. 113: 23-33.

- Pernestal K., B. Jonsson. (1993). PIXE as tool for determination of acidified forest. Nuclear instruments and methods in Physics Research B75: 326-329.

- Palazuelos, E. (1991). Sources of lead in México City. Archives of Enviromental Health. 46: 186.

- Penninckx V., Meerts, P., Herbauts J., Gruber,W. (1999). Ring width and element concentrations in beech (*Fagus sylvatica* L.) from a periurban forest in central Belgium.Forest Ecology and Management 113: 23-33

- Reinmann C., de Caritat P. (1998). Chemical elements in the enviroment. Edit Springer, Berlin Heilderberg. pp.397.

- Rolfe, G.L. (1974). Lead distribution in tree rings. Forest Sci. 20 : 283-386

- SARH. 1992. Expedientes económicos de los parques nacionales.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- SARH, 1994. Diagnóstico del Parque Nacional El Chico, Estado de Hidalgo. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. Consultores en Ecología y Medio Ambiente. 42 páginas, más anexos.
- S.A.E. Johansson and J.L. Campbell. Particle Induced X-ray Emission spectrometry (PIXE) (WILEY 1995)
- Sosa A. (1951). Parque Nacional Desierto de los Leones SAG. México. 37 paginas
- Spurr, S., Barnes, V. Burton. (1982). Ecologia Forestal. Edit. AGT Editor pp. 98-104
- Universidad Autónoma de Hidalgo. (1992). Programa de Manejo del Parque Nacional El Chico, Estado de Hidalgo. Pachuca, Hidalgo. Tomo I. 30 de julio. 97 páginas.
- Valkovic, V., Rendic, D., Biegert, E.K., Andrade, E. (1979). Environ. Internat. 2. 27-32.
- Vargas Márquez, Fernando. (1984). Parques Nacionales de México y Reservas Equivalentes. Pasado, presente y futuro. Colección: Grandes Problemas Nacionales. Serie: Los Bosques de México. Instituto de Investigaciones Económicas. UNAM. México, D.F. 266 páginas, más 34 de fotografías y mapa.
- Vázquez, S.J. (1987). El saneamiento y la limpia forestal en el Desierto de los Leones. COCODER-DDF, México.
- Vizcaino Murray, F. (1975). La contaminación en México. Fondo de Cultura Economica, México D.F.
- Watmough S.A. y Hutchinson T.C. (1999). Change in decdrochemistry of sacred fir close to México City over the past 100 years. Enviromental Pollution 104:79-88
- Watmough, S.IA., Hutchinson, T.C. (1996). Analysis of tree rings using inductively coupled plasma mass spectrometry to recard fluctuations in a metal pollution episode. Environ. Pollut. 93:93-10

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- Watmough S.A. Hutchinson T.C. and Sager E.P.S. (1998). Changes in tree rings Chemistry in Sugar Maple (*Hacer sarcharum* March) along an urbann rural gradient in southern Ontario. Enviromental Pollution 101: 381-390.

- Wild, A., Jones, L.H.P. (1988). Mineral nutrition of crop plants, in *Russell's Soil conditionsn and plants Growth*. ed. Logman Sci. Pp 69.

- Yanoski M. Thomas, hansen P. Bruce., Shening R. Michael. (2001). Use of tree rings to investigate the onset of contamination of a shallow aquifer by Chlorinated hydrocarbons. Journal of contaminant Hydrology. 50: 159-173

- Young A Raymond. (1991). Introducción a las Ciencias Forestales . Edit Limusa . pp. 632

- http://www.regent.qc.ca/products/dendro/DENDRO.html

- *WWW.demand5.gif*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ANEXO

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

STAT. FACTOR ANALYSIS

Correlations (oyachico.sta)
MD were substituted by means

Variable	ANCHO	TEMP	PREC	PST	SO2	NA	MG	K	CA	TI	V
ANCHO	1.00	.12	.11	-.01	-.04	.02	.09	.38	-.15	.36	-.04
TEMP	.12	1.00	-.29	-.50	.10	-.29	-.31	-.31	-.04	-.31	.38
PREC	.11	-.29	1.00	-.12	-.45	.11	.19	.31	-.50	.15	.07
PST	-.01	-.50	-.12	1.00	-.14	.15	.19	.05	-.04	.05	-.17
SO2	-.04	.10	-.45	-.14	1.00	-.11	-.25	-.32	.24	-.15	.08
NA	.02	-.29	.11	.15	-.11	1.00	.97	.52	.36	.11	-.34
MG	.09	-.31	.19	.19	-.25	.97	1.00	.58	.29	.23	-.29
K	.38	-.31	.31	.05	-.32	.52	.58	1.00	.27	.49	-.12
CA	-.15	-.04	-.50	-.04	.24	.36	.29	.27	1.00	.07	-.29
TI	.36	-.31	.15	.05	-.15	.11	.23	.49	.07	1.00	-.22
V	-.04	.38	.07	-.17	.08	-.34	-.29	-.12	-.29	-.22	1.00
CR	-.03	.29	.09	-.26	.23	.17	.15	-.07	.26	-.08	-.17
MN	-.32	.06	-.32	.07	.05	.30	.20	.17	.67	-.25	-.11
FE	.23	-.31	.42	-.12	-.40	.51	.55	.68	.19	.34	-.12
CO	.52	-.07	.31	.03	-.34	.23	.28	.60	.05	.23	-.09
NI	.12	-.15	-.13	-.01	.21	.16	.17	.33	.39	.29	.18
CU	.22	-.20	-.07	.13	-.24	.65	.69	.80	.61	.38	-.17
ZN	.42	-.34	.40	.07	-.41	.66	.71	.90	.11	.50	-.26
GA	-.30	-.20	-.31	.19	.13	.24	.17	.17	.60	-.12	-.14
Y	.56	-.09	.28	.04	-.18	.21	.25	.64	.06	.39	-.16
PD	-.05	.16	-.08	-.24	.38	-.00	-.00	-.02	.02	.02	.17
CD	-.25	-.04	-.30	.05	.09	.15	.13	-.01	.39	-.21	-.08
BA	.05	-.35	-.02	.13	-.17	.42	.39	.20	.26	-.04	-.28
TL	.03	-.05	.03	.11	-.14	.28	.30	.04	-.14	.12	.01
PB	.17	-.31	.12	.18	-.15	.63	.64	.42	.32	.19	-.35
BI	-.07	-.22	.02	.04	.25	.09	.03	-.02	.24	.05	-.37

STAT. FACTOR ANALYSIS

Correlations (oyachico.sta)
MD were substituted by means

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Variable	CR	MN	FE	CO	NI	CU	ZN	GA	Y	PD	CD
ANCHO	-.03	-.32	.23	.52	.12	.22	.42	-.30	.56	-.05	-.25
TEMP	.29	.06	-.31	-.07	-.15	-.20	-.34	-.20	-.09	.16	-.04
PREC	.09	-.32	.42	.31	-.13	-.07	.40	-.31	.28	-.08	-.30
PST	-.26	.07	-.12	.03	-.01	.13	.07	.19	.04	-.24	.05
SO2	.23	.05	-.40	-.34	.21	-.24	-.41	.13	-.18	.38	.09
NA	.17	.30	.51	.23	.16	.65	.66	.24	.21	-.00	.15
MG	.15	.20	.55	.28	.17	.69	.71	.17	.25	-.00	.13
K	-.07	.17	.68	.60	.33	.80	.90	.17	.64	-.02	-.01
CA	.26	.67	.19	.05	.39	.61	.11	.60	.06	.02	.39
TI	-.08	-.25	.34	.23	.29	.38	.50	-.12	.39	.02	-.21
V	-.17	-.11	-.12	-.09	.18	-.17	-.26	-.14	-.16	.17	-.08
CR	1.00	.19	-.11	.04	-.06	.02	-.05	-.14	-.06	.25	.24
MN	.19	1.00	.19	-.04	.03	.43	.08	.49	-.03	.09	.25
FE	-.11	.19	1.00	.43	.23	.50	.72	.17	.50	-.18	-.10
CO	.04	-.04	.43	1.00	.16	.47	.64	-.03	.76	-.36	.01
NI	-.06	.03	.23	.16	1.00	.38	.18	.13	.29	.07	.12
CU	.02	.43	.50	.47	.38	1.00	.71	.35	.45	.03	.18
ZN	-.05	.08	.72	.64	.18	.71	1.00	.07	.60	-.09	-.12
GA	-.14	.49	.17	-.03	.13	.35	.07	1.00	-.02	-.07	.14
Y	.06	-.03	.50	.76	.29	.45	.60	-.02	1.00	-.14	.07
PD	.25	.09	-.18	-.36	-.07	.03	-.09	-.07	-.14	1.00	-.12
CD	.24	.25	-.10	.01	.12	.18	-.12	.14	.07	-.12	1.00
BA	-.28	.10	.38	.38	.11	.37	.34	.12	.13	-.27	-.00

STAT. FACTOR ANALYSIS — Correlations (oyachico.sta) MD were substituted by means

Variable	CR	MN	FE	CO	NI	CU	ZN	GA	Y	PD	CD
TL	-.20	-.12	.07	-.22	.25	.08	.13	-.24	-.13	.10	-.17
PB	.21	.24	.30	.12	.07	.52	.49	.05	.02	-.04	.05
BI	.29	.20	-.13	-.32	-.03	-.00	-.02	.09	-.30	.24	-.10

STAT. FACTOR ANALYSIS — Correlations (oyachico.sta) MD were substituted by means

Variable	BA	TL	PB	BI
ANCHO	.05	.03	.17	-.07
TEMP	-.35	-.05	-.31	-.22
PREC	-.02	.03	.12	.02
PST	.13	.11	.18	.04
SO2	-.17	-.14	-.15	.25
NA	.42	.28	.63	.09
MG	.39	.30	.64	.03
K	.20	.04	.42	-.02
CA	.26	-.14	.32	.24
TI	-.04	.12	.19	.05
V	-.28	.01	-.35	-.37
CR	-.28	-.20	.21	.29
MN	.10	-.12	.24	.20
FE	.38	.07	.30	-.13
CO	.38	-.22	.12	-.32
NI	.11	.25	.07	-.03
CU	.37	.08	.52	-.00
ZN	.34	.13	.49	-.02
GA	.12	-.24	.05	.09
Y	.13	-.13	.02	-.30
PD	-.27	.10	-.04	.24
CD	-.00	-.17	.05	-.10
BA	1.00	.06	.19	-.19
TL	.06	1.00	.52	.04
PB	.19	.52	1.00	.46
BI	-.19	.04	.46	1.00

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

STAT. FACTOR ANALYSIS

Correlations (p2ch00.sta)
MD were substituted by means

Variable	ANCHO	TEMP	PREC	PST	SO2	P	S	CL	K	CA	TI
ANCHO	1.00	-.03	-.22	.15	.12	-.01	.03	.02	.02	.04	.16
TEMP	-.03	1.00	-.58	.14	.08	-.19	-.21	-.23	-.25	-.21	-.24
PREC	-.22	-.58	1.00	-.08	-.63	.43	.51	.56	.58	.50	.54
PST	.15	.14	-.08	1.00	-.13	-.00	.00	-.00	.01	.01	.00
SO2	.12	.08	-.63	-.13	1.00	-.37	-.35	-.39	-.37	-.32	-.40
P	-.01	-.19	.43	-.00	-.37	1.00	.84	.81	.72	.71	.72
S	.03	-.21	.51	.00	-.35	.84	1.00	.99	.98	.98	.95
CL	.02	-.23	.56	-.00	-.39	.81	.99	1.00	.99	.98	.95
K	.02	-.25	.58	.01	-.37	.72	.98	.99	1.00	.99	.96
CA	.04	-.21	.50	.01	-.32	.71	.98	.98	.99	1.00	.96
TI	.16	-.24	.54	.00	-.40	.72	.95	.95	.96	.96	1.00
V	.01	-.27	.49	-.04	-.36	.66	.91	.91	.93	.93	.89
CR	.07	-.24	.51	-.02	-.31	.71	.98	.98	.99	1.00	.96
MN	.03	-.25	.54	-.01	-.33	.69	.97	.98	.99	1.00	.96
FE	.02	-.25	.53	-.07	-.36	.68	.93	.93	.95	.95	.93
CO	-.02	-.20	.45	.03	-.36	.61	.86	.87	.89	.89	.86
NI	.05	-.27	.56	-.01	-.34	.71	.97	.98	.99	.99	.97
CU	.03	-.23	.54	-.00	-.35	.72	.98	.98	1.00	1.00	.96
ZN	-.08	.33	-.24	.11	-.09	.23	.01	-.02	-.09	-.08	-.10
GA	.17	.24	-.03	.00	-.05	.04	-.10	-.07	-.11	-.13	-.15
AS	.06	-.06	.12	-.06	.13	.04	.17	.15	.19	.21	.20
RB	-.00	-.29	.56	-.00	-.31	.70	.96	.97	.98	.98	.94
SR	-.16	-.15	.09	-.24	.14	-.16	-.15	-.12	-.11	-.14	-.08
Y	.01	-.02	.15	.15	-.24	.13	-.08	-.09	-.12	-.14	-.11
ZR	.02	-.37	.42	.07	-.17	.53	.76	.76	.79	.79	.73
BA	.02	-.27	.56	.00	-.36	.70	.95	.95	.97	.98	.96

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

STAT. FACTOR ANALYSIS

Correlations (p2ch00.sta)
MD were substituted by means

Variable	V	CR	MN	FE	CO	NI	CU	ZN	GA	AS	RB
ANCHO	.01	.07	.03	.02	-.02	.05	.03	-.08	.17	.06	-.00
TEMP	-.27	-.24	-.25	-.25	-.20	-.27	-.23	.33	.24	-.06	-.29
PREC	.49	.51	.54	.53	.45	.56	.54	-.24	-.03	.12	.56
PST	-.04	-.02	-.01	-.07	.03	-.01	-.00	.11	.00	-.06	-.00
SO2	-.36	-.31	-.33	-.36	-.36	-.34	-.35	-.09	-.05	.13	-.31
P	.66	.71	.69	.68	.61	.71	.72	.23	.04	.04	.70
S	.91	.98	.97	.93	.86	.97	.98	.01	-.10	.17	.96
CL	.91	.98	.98	.93	.87	.98	.98	-.02	-.07	.15	.97
K	.93	.99	.99	.95	.89	.99	1.00	-.09	-.11	.19	.98
CA	.93	1.00	1.00	.95	.89	.99	1.00	-.08	-.13	.21	.98
TI	.89	.96	.96	.93	.86	.97	.96	-.10	-.15	.20	.94
V	1.00	.92	.93	.95	.84	.92	.93	-.12	-.18	.25	.91
CR	.92	1.00	.99	.95	.88	.99	.99	-.08	-.13	.20	.97
MN	.93	.99	1.00	.95	.91	1.00	1.00	-.09	-.15	.22	.98
FE	.95	.95	.95	1.00	.85	.95	.95	-.11	-.12	.35	.92
CO	.84	.88	.91	.85	1.00	.90	.89	-.07	-.18	.21	.86
NI	.92	.99	1.00	.95	.90	1.00	.99	-.09	-.11	.23	.98
CU	.93	.99	1.00	.95	.89	.99	1.00	-.07	-.13	.22	.98
ZN	-.12	-.08	-.09	-.11	.07	-.09	-.07	1.00	.09	-.19	-.12
GA	-.18	-.13	-.15	-.12	-.18	-.11	-.13	.09	1.00	-.19	-.14
AS	.25	.20	.22	.35	.21	.23	.22	-.19	-.19	1.00	.22
RB	.91	.97	.98	.92	.86	.98	.98	-.12	-.14	.22	1.00
SR	.03	-.12	-.09	-.07	-.11	-.11	-.13	-.10	-.15	.25	-.06

STAT. FACTOR ANALYSIS — Correlations (p2ch00.sta) MD were substituted by means

Variable	V	CR	MN	FE	CO	NI	CU	ZN	GA	AS	RB
Y	-.13	-.15	-.14	-.06	-.06	-.12	-.12	.40	.28	-.09	-.15
ZR	.68	.79	.80	.74	.69	.82	.79	-.10	-.03	.25	.82
BA	.91	.97	.98	.94	.86	.97	.98	-.14	-.19	.21	.97

STAT. FACTOR ANALYSIS — Correlations (p2ch00.sta) MD were substituted by means

Variable	SR	Y	ZR	BA
ANCHO	-.16	.01	.02	.02
TEMP	-.15	-.02	-.37	-.27
PREC	.09	.15	.42	.56
PST	-.24	.15	.07	.00
SO2	.14	-.24	-.17	-.36
P	-.16	.13	.53	.70
S	-.15	-.08	.76	.95
CL	-.12	-.09	.76	.95
K	-.11	-.12	.79	.97
CA	-.14	-.14	.79	.98
TI	-.08	-.11	.73	.96
V	.03	-.13	.68	.91
CR	-.12	-.15	.79	.97
MN	-.09	-.14	.80	.98
FE	-.07	-.06	.74	.94
CO	-.11	-.06	.69	.86
NI	-.11	-.12	.82	.97
CU	-.13	-.12	.79	.98
ZN	-.10	.40	-.10	-.14
GA	-.15	.28	-.03	-.19
AS	.25	-.09	.25	.21
RB	-.06	-.15	.82	.97
SR	1.00	-.20	-.19	-.15
Y	-.20	1.00	-.16	-.14
ZR	-.19	-.16	1.00	.78
BA	-.15	-.14	.78	1.00

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

STAT. FACTOR ANALYSIS

Correlations (pin1dd100.sta)
MD were substituted by means

Variable	ANCHO	TEMP	PREC	PST	SO2	S	CL	K	CA	V	CR
ANCHO	1.00	.17	-.28	-.25	.04	-.09	-.12	-.10	-.13	-.08	-.05
TEMP	.17	1.00	.36	.24	-.52	-.13	-.11	-.19	-.20	-.19	-.27
PREC	-.28	.36	1.00	-.04	-.13	-.18	-.07	-.07	-.08	.06	-.12
PST	-.25	.24	-.04	1.00	-.14	-.21	-.06	-.11	-.10	.23	.14
SO2	.04	-.52	-.13	-.14	1.00	.01	.02	.04	.00	.06	-.05
S	-.09	-.13	-.18	-.21	.01	1.00	.86	.60	.71	.01	.47
CL	-.12	-.11	-.07	-.06	.02	.86	1.00	.77	.83	.46	.60
K	-.10	-.19	-.07	-.11	.04	.60	.77	1.00	.97	.66	.52
CA	-.13	-.20	-.08	-.10	.00	.71	.83	.97	1.00	.59	.62
V	-.08	-.19	.06	.23	.06	.01	.46	.66	.59	1.00	.56
CR	-.05	-.27	-.12	.14	-.05	.47	.60	.52	.62	.56	1.00
MN	-.12	-.27	-.20	.00	-.08	.74	.77	.42	.57	.29	.81
FE	-.02	-.24	.01	.13	.06	.20	.57	.77	.74	.95	.73
CO	-.09	-.13	-.05	-.15	.10	.67	.63	.83	.85	.26	.26
NI	-.09	-.18	-.12	-.14	.07	.36	.19	.52	.51	-.04	-.11
CU	-.10	-.22	-.00	-.00	.11	.26	.58	.90	.82	.84	.37
ZN	-.12	-.12	-.14	-.28	-.00	.77	.54	.67	.72	-.09	.18
GA	-.12	-.12	-.11	-.30	.06	.45	.27	.63	.61	-.04	-.10
AS	-.31	-.06	-.23	.35	-.03	-.13	-.11	-.15	-.13	-.04	-.11
RB	.10	.17	.22	.18	.28	.10	.39	.27	.21	.44	.04
SR	.10	.11	.26	-.08	.14	.10	.41	.27	.20	.40	-.14
Y	-.15	-.07	-.09	-.22	.03	.45	.29	.65	.62	-.01	-.07
ZR	.03	-.28	-.07	.12	-.07	-.10	.20	.52	.48	.81	.71
MO	-.03	.15	.26	.15	.21	.06	.36	.23	.18	.40	-.13
CD	.08	-.35	-.03	-.18	.24	-.09	.17	.37	.32	.61	.31
BA	-.07	-.23	-.09	-.02	-.02	.76	.81	.70	.80	.43	.88
PB	-.10	.15	.38	-.10	.06	.08	.34	.23	.18	.36	-.14

STAT. FACTOR ANALYSIS

Correlations (pin1dd100.sta)
MD were substituted by means

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Variable	MN	FE	CO	NI	CU	ZN	GA	AS	RB	SR	Y
ANCHO	-.12	-.02	-.09	-.09	-.10	-.12	-.12	-.31	.10	.10	-.15
TEMP	-.27	-.24	-.13	-.18	-.22	-.12	-.12	-.06	.17	.11	-.07
PREC	-.20	.01	-.05	-.12	-.00	-.14	-.11	-.23	.22	.26	-.09
PST	.00	.13	-.15	-.14	-.00	-.28	-.30	.35	.18	-.08	-.22
SO2	-.08	.06	.10	.07	.11	-.00	.06	-.03	.28	.14	.03
S	.74	.20	.67	.36	.26	.77	.45	-.13	.10	.10	.45
CL	.77	.57	.63	.19	.58	.54	.27	-.11	.39	.41	.29
K	.42	.77	.83	.52	.90	.67	.63	-.15	.27	.27	.65
CA	.57	.74	.85	.51	.82	.72	.61	-.13	.21	.20	.62
V	.29	.95	.26	-.04	.84	-.09	-.04	-.04	.44	.40	-.01
CR	.81	.73	.26	-.11	.37	.18	-.10	-.11	.04	-.14	-.07
MN	1.00	.43	.26	-.12	.18	.28	-.10	.00	.01	.00	-.09
FE	.43	1.00	.41	.05	.85	.11	.08	-.11	.40	.29	.11
CO	.26	.41	1.00	.81	.66	.87	.84	-.12	.24	.12	.87
NI	-.12	.05	.81	1.00	.42	.78	.88	.01	-.11	-.12	.91
CU	.18	.85	.66	.42	1.00	.37	.47	-.11	.42	.43	.48
ZN	.28	.11	.87	.78	.37	1.00	.89	-.12	-.09	-.12	.88
GA	-.10	.08	.84	.88	.47	.89	1.00	-.08	-.09	-.09	.98
AS	.00	-.11	-.12	.01	-.11	-.12	-.08	1.00	-.05	-.08	-.07
RB	.01	.40	.24	-.11	.42	-.09	-.09	-.05	1.00	.69	-.07
SR	.00	.29	.12	-.12	.43	-.12	-.09	-.08	.69	1.00	-.08
Y	-.09	.11	.87	.91	.48	.88	.98	-.07	-.07	-.08	1.00

STAT. FACTOR ANALYSIS	Correlations (pin1dd100.sta) MD were substituted by means										
Variable	MN	FE	CO	NI	CU	ZN	GA	AS	RB	SR	Y
ZR	.31	.86	.11	-.08	.60	-.08	-.06	-.07	-.04	-.07	-.04
MO	.01	.24	.10	-.05	.40	-.14	-.09	-.10	.59	.70	-.07
CD	.19	.59	.02	-.14	.55	-.13	-.03	-.18	.15	.20	-.13
BA	.86	.64	.55	.14	.43	.51	.20	-.12	.10	-.03	.23
PB	.03	.24	.08	-.13	.41	-.10	-.06	-.12	.58	.74	-.07

STAT. FACTOR ANALYSIS	Correlations (pin1dd100.sta) MD were substituted by means				
Variable	ZR	MO	CD	BA	PB
ANCHO	.03	-.03	.08	-.07	-.10
TEMP	-.28	.15	-.35	-.23	.15
PREC	-.07	.26	-.03	-.09	.38
PST	.12	.15	-.18	-.02	-.10
SO2	-.07	.21	.24	-.02	.06
S	-.10	.06	-.09	.76	.08
CL	.20	.36	.17	.81	.34
K	.52	.23	.37	.70	.23
CA	.48	.18	.32	.80	.18
V	.81	.40	.61	.43	.36
CR	.71	-.13	.31	.88	-.14
MN	.31	.01	.19	.86	.03
FE	.86	.24	.59	.64	.24
CO	.11	.10	.02	.55	.08
NI	-.08	-.05	-.14	.14	-.13
CU	.60	.40	.55	.43	.41
ZN	-.08	-.14	-.13	.51	-.10
GA	-.06	-.09	-.03	.20	-.06
AS	-.07	-.10	-.18	-.12	-.12
RB	-.04	.59	.15	.10	.58
SR	-.07	.70	.20	-.03	.74
Y	-.04	-.07	-.13	.23	-.07
ZR	1.00	-.07	.58	.48	-.09
MO	-.07	1.00	.28	-.03	.70
CD	.58	.28	1.00	.19	.45
BA	.48	-.03	.19	1.00	-.04
PB	-.09	.70	.45	-.04	1.00

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

STAT. FACTOR ANALYSIS

Correlations (oyaddl.sta)
MD were substituted by means

Variable	ANCHO	TEMP	PREC	PST	SO2	AL	P	S	CL	K	CA
ANCHO	1.00	.28	.35	.31	-.59	.00	-.31	-.31	-.52	-.46	-.31
TEMP	.28	1.00	.25	.22	-.15	-.23	-.12	.32	.13	.00	.55
PREC	.35	.25	1.00	-.08	-.20	-.14	-.29	-.08	-.31	-.34	-.05
PST	.31	.22	-.08	1.00	-.12	.15	.19	.06	.27	.41	.03
SO2	-.59	-.15	-.20	-.12	1.00	.24	.33	.47	.26	.12	.50
AL	.00	-.23	-.14	.15	.24	1.00	-.15	-.16	-.18	-.14	-.13
P	-.31	-.12	-.29	.19	.33	-.15	1.00	.43	.50	.52	.17
S	-.31	.32	-.08	.06	.47	-.16	.43	1.00	.66	.37	.62
CL	-.52	.13	-.31	.27	.26	-.18	.50	.66	1.00	.79	.42
K	-.46	.00	-.34	.41	.12	-.14	.52	.37	.79	1.00	.29
CA	-.31	.55	-.05	.03	.50	-.13	.17	.62	.42	.29	1.00
V	.15	-.15	-.12	.33	-.21	-.05	-.03	-.20	.19	.23	-.11
CR	-.15	-.04	-.29	.37	.12	.10	-.06	.07	.15	.14	-.13
MN	-.36	.43	-.01	-.10	.49	-.19	.27	.58	.28	.21	.82
FE	-.38	.46	-.12	-.16	.45	-.17	.22	.61	.47	.29	.91
CO	.05	-.13	-.12	-.05	-.23	.01	-.03	-.01	.13	.09	-.21
NI	-.11	.61	-.36	.19	.07	.05	.11	.31	.34	.29	.50
CU	.19	.58	.36	.19	-.03	-.13	-.18	.17	.06	.01	.31
ZN	-.02	.77	.07	.18	.20	-.05	.15	.41	.25	.15	.71
GA	-.10	.34	.26	-.06	.06	-.30	.02	.14	.04	.27	.41
AS	-.26	-.05	-.11	.03	.21	.31	-.33	.12	.24	.24	.18
RB	.11	-.01	-.12	.16	.05	.01	.04	.05	-.09	-.06	-.13
SR	-.05	.26	-.10	.27	.17	-.17	.35	.34	.27	.13	.34
HG	-.29	-.09	-.10	-.17	.06	-.16	.24	.18	.22	.09	-.10
PB	.19	-.03	.29	-.19	-.26	-.07	-.07	-.05	-.15	-.20	-.15

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

STAT. FACTOR ANALYSIS

Correlations (oyaddl.sta)
MD were substituted by means

Variable	V	CR	MN	FE	CO	NI	CU	ZN	GA	AS	RB
ANCHO	.15	-.15	-.36	-.38	.05	-.11	.19	-.02	-.10	-.26	.11
TEMP	-.15	-.04	.43	.46	-.13	.61	.58	.77	.34	-.05	-.01
PREC	-.12	-.29	-.01	-.12	-.12	-.36	.36	.07	.26	-.11	-.12
PST	.33	.37	-.10	-.16	-.05	.19	.19	.18	-.06	.03	.16
SO2	-.21	.12	.49	.45	-.23	.07	-.03	.20	.06	.21	.05
AL	-.05	.10	-.19	-.17	.01	.05	-.13	-.05	-.30	.31	.01
P	-.03	-.06	.27	.22	-.03	.11	-.18	.15	.02	-.33	.04
S	-.20	.07	.58	.61	-.01	.31	.17	.41	.14	.12	.05
CL	.19	.15	.28	.47	.13	.34	.06	.25	.04	.24	-.09
K	.23	.14	.21	.29	.09	.29	.01	.15	.27	.24	-.06
CA	-.11	-.13	.82	.91	-.21	.50	.31	.71	.41	.18	-.13
V	1.00	.06	-.21	-.04	.22	-.25	-.05	-.22	-.26	.03	-.24
CR	.06	1.00	-.15	-.21	-.12	-.03	.22	-.15	-.24	.19	.35
MN	-.21	-.15	1.00	.73	-.23	.40	.29	.66	.38	.10	.01
FE	-.04	-.21	.73	1.00	-.00	.49	.17	.60	.37	.19	-.23
CO	.22	-.12	-.23	-.00	1.00	.06	-.32	-.24	.00	.35	-.20
NI	-.25	-.03	.40	.49	.06	1.00	.13	.67	.08	.23	.02
CU	-.05	.22	.29	.17	-.32	.13	1.00	.45	.38	.10	-.05
ZN	-.22	-.15	.66	.60	-.24	.67	.45	1.00	.24	.05	-.01
GA	-.26	-.24	.38	.37	.00	.08	.38	.24	1.00	.07	-.07
AS	.03	.19	.10	.19	.35	.23	.10	.05	.07	1.00	-.29
RB	-.24	.35	.01	-.23	-.20	.02	-.05	-.01	-.07	-.29	1.00
SR	-.02	.14	.34	.23	-.01	.20	.21	.25	.06	.11	-.13
HG	-.15	.28	-.09	-.02	-.13	-.10	.17	-.12	-.04	-.24	.30

STAT. FACTOR ANALYSIS	Correlations (oyaddl.sta) MD were substituted by means										
Variable	V	CR	MN	FE	CO	NI	CU	ZN	GA	AS	RB
PB	.08	-.26	-.19	-.10	.12	-.28	-.40	-.15	-.21	-.26	.08

STAT. FACTOR ANALYSIS	Correlations (oyaddl.sta) MD were substituted by means		
Variable	SR	HG	PB
ANCHO	-.05	-.29	.19
TEMP	.26	-.09	-.03
PREC	-.10	-.10	.29
PST	.27	-.17	-.19
SO2	.17	.06	-.26
AL	-.17	-.16	-.07
P	.35	.24	-.07
S	.34	.18	-.05
CL	.27	.22	-.15
K	.13	.09	-.20
CA	.34	-.10	-.15
V	-.02	-.15	.08
CR	.14	.28	-.26
MN	.34	-.09	-.19
FE	.23	-.02	-.10
CO	-.01	-.13	.12
NI	.20	-.10	-.28
CU	.21	.17	-.40
ZN	.25	-.12	-.15
GA	.06	-.04	-.21
AS	.11	-.24	-.26
RB	-.13	.30	.08
SR	1.00	.12	-.10
HG	.12	1.00	-.06
PB	-.10	-.06	1.00

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN